

Corso di Laurea Magistrale in STRATEGIC MANAGEMENT

Tesi di Laurea in
ECONOMIA PER IL MANAGEMENT

La blockchain nel settore dell'agro-alimentare:
il caso Trusty

RELATORE:

Prof. Giuseppe De Luca

CANDIDATA:

Giulia Pelinku

Matr. 746231

CO-RELATRICE:

Prof.ssa Rita Mascolo

ABSTRACT	»	5
INTRODUZIONE	»	6
CAPITOLO PRIMO		
<i><u>L'ascesa dell'Internet of Value: la tecnologia blockchain</u></i>		
<i>1.1</i> L'avvento di una <i>disruptive innovation</i> : il primo fenomeno blockchain	»	12
<i>1.2</i> Lineamenti storici ed evolutivi	»	13
<i>1.2.1</i> XV secolo. L'isola di Yap: le pietre Rai ed il libro mastro	»	13
<i>1.2.2</i> XX secolo. I precursori: David Lee Chaum e Nick Szabo	»	15
<i>1.2.3</i> XXI secolo. La Reusable Proof of Work e Satoshi Nakamoto	»	19
<i>1.3</i> La tecnologia blockchain: peculiarità e funzionamento	»	21
<i>1.3.1</i> Il sistema di sicurezza	»	27
<i>1.3.2</i> Gli aspetti fondamentali della tecnologia blockchain	»	29
<i>1.3.3</i> Il trasferimento di denaro. Come funziona davvero la blockchain?	»	31
<i>1.3.4</i> Vantaggi e svantaggi della tecnologia blockchain	»	32
<i>1.4</i> Tipologie di blockchain: permissionless vs permissioned	»	35
<i>1.5</i> Le diverse piattaforme blockchain	»	41
<i>1.5.1</i> La piattaforma Bitcoin	»	41
<i>1.5.2</i> La piattaforma Ethereum	»	41
<i>1.5.3</i> Una breve overview: le nuove piattaforme	»	46
<i>1.6</i> Settori di implementazione della blockchain	»	47

CAPITOLO SECONDO

L'implementazione della tecnologia blockchain al sistema della supply chain management

2.1 Supply chain management: una complessa definizione	»	54
2.1.1 Supply chain	»	56
2.1.2 Supply chain management	»	58
2.1.3 Il funzionamento della supply chain management	»	67
2.1.4 Modelli di supply chain management	»	74
2.2 L'implementazione della tecnologia blockchain alla supply chain management	»	77
2.2.1 Tracciabilità e trasparenza	»	81
2.2.2 Collaborazione delle parti interessate	»	82
2.2.3 Integrazione e digitalizzazione della supply chain management	»	83
2.3 Blockchain e supply chain management: il binomio indispensabile	»	85
2.3.1 La risposta alle crescenti esigenze aziendali	»	85
2.3.2 Fattori critici per il successo	»	89

CAPITOLO TERZO

La tecnologia blockchain e la filiera agro-alimentare: il caso Trusty

3.1 Food Value Chain: la blockchain nell'agro-alimentare	»	94
3.2 implementazione della blockchain alla filiera agro-alimentare	»	98
3.3 IBM Supply Chain Intelligence Suite: Food Trust	»	99
3.4 Apio e Trusty: un caso esemplare	»	105
3.4.1 Pastificio Mancini: l'implementazione di Trusty al Made in Italy	»	108

CAPITOLO QUARTO

<u><i>Intervista ad Alessandro Chelli, CEO e Co-founder di Apio S.r.l.</i></u>	»	114
--	---	-----

CONCLUSIONI	» 125
RIASSUNTO	» 128
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	» 141

ABSTRACT

La blockchain è espressione di un libro mastro digitale distribuito e basata su una rete decentralizzata di partecipanti che prendono il nome di nodi, i quali collaborano per convalidare e registrare le transazioni poste in essere. Ciascuna delle transazioni viene identificata attraverso uno specifico blocco, il quale contiene un insieme di dati e, soprattutto, un riferimento al blocco precedente. Esistono diverse tipologie di blockchain, nonostante tale tecnologia abbia rappresentato, a partire dal 2008, la spina dorsale della celebre piattaforma Bitcoin. Negli anni altrettante piattaforme sono state sviluppate, nel tentativo di sanare le limitazioni proprie della versione originale; d'altra parte, non solo sono emerse una serie di piattaforme nuove e rivoluzionarie, ma anche differenti tipologie di blockchain hanno visto la luce: dalle permissionless alle permissioned, ciascuna delle quali volta a soddisfare esigenze e necessità differenti. Tale tecnologia ha conosciuto implementazioni distinte e numerose: dal settore finanziario – con Bitcoin – fino ad arrivare al settore sanitario, dell'immobiliare e dell'agro-alimentare. È proprio su quest'ultimo settore che l'elaborato si concentra, ponendo in luce i vantaggi – con annesse limitazioni odierne – circa l'implementazione della tecnologia alla supply chain management e, quindi, ai diversi processi che si susseguono lungo l'intera catena del valore. Trusty rappresenta un caso esemplare per dare un riscontro tangibile delle opportunità che le imprese attive nel settore dell'agro-alimentare possono cogliere circa l'applicazione della blockchain alle loro attività e servizi, configurando – soprattutto – una riduzione dei costi di transazione e dell'asimmetria informativa propria di tale sistema ed un incremento della brand reputation e del vantaggio competitivo aziendale.

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni i fenomeni legati alla digitalizzazione hanno trasformato profondamente l'intero panorama mondiale: a partire dall'avvento di Internet, capace di stravolgere abitudini ed usi, fino alla graduale evoluzione della tecnologia in esame, la cosiddetta blockchain. Originariamente introdotta come spina dorsale delle criptovalute Bitcoin, perseguendo l'obiettivo di dar vita ad un sistema privo di intermediari, basato sulla fiducia e sul consenso condiviso, tale tipologia di intelligenza artificiale ha saputo dimostrare un potenziale estremamente più ampio, estendendosi al di là della pura implementazione in ambito bancario/finanziario e raggiungendo una gamma di settori estremamente rilevante. Dal settore sanitario, fino ad arrivare a quello dell'energia, passando per il settore dei trasporti, quello immobiliare e dell'istruzione, tale tecnologia potrebbe rivoluzionare completamente il funzionamento di ciascuna delle suddette aree, incrementando il grado di trasparenza ed affidabilità di ognuno. La digitalizzazione e la semplificazione delle attività rappresenta l'output finale che l'implementazione di tale *disruptive innovation* persegue: il venir meno di una presenza super partes, il venir meno di un intermediario necessario ed indispensabile al verificarsi di determinate occasioni, il venir meno della fiducia centralizzata nei confronti di un singolo soggetto, rappresentano le motivazioni fondamentali che si celano dietro l'origine della tecnologia. Dunque, la blockchain – letteralmente catena di blocchi – nel suo significato più tecnico e pragmatico è espressione di un libro mastro digitale distribuito, capace di memorizzare qualsiasi tipologia di dati, laddove all'interno di ciascuno dei blocchi di cui è composta, cinque sono gli elementi di fondamentale importanza: stored data, hash, hash pointer, timestamp e nonce. Questi tasselli, che compongono meticolosamente ciascun tassello della blockchain, consentono di configurare l'eliminazione dell'autorità centrale competente a verificare le transazioni in un sistema centralizzato, attuando una considerevole riduzione dei costi di transazione annessi; rendono i dati memorizzati lungo la catena inviolabili, poiché protetti crittograficamente, così come inviolabili si dimostrano le informazioni personali degli utenti registrati; di fondamentale importanza si delinea la natura immutabile della catena, laddove una volta autorizzata, la transazione non può in alcun modo subire modifica alcuna; da ultimo, tratto distintivo di tale tecnologia è rappresentato dalla profonda trasparenza insita in una rete peer-

to-peer, in quanto le transazioni vengono opportunamente registrate all'interno di un libro mastro pubblico immutabile condiviso, aperto ed accessibile a tutti.

Il presente elaborato – contraddistinto da quattro sezioni – persegue, dunque, l'obiettivo specifico di investigare il capillare funzionamento della tecnologia blockchain a partire dal suo primo esordio, spingendosi poi a comprenderne l'evoluzione sistematica nel corso degli anni. Nonostante le sue origini possano ricondursi al settore finanziario, l'intento sarà quello di derogare l'utilizzo della tecnologia oggetto di indagine ad un area di business, comprendendone le possibili implementazioni all'interno di uno scenario complesso, rappresentato – in questo specifico caso – dalla supply chain management. La catena di approvvigionamento coinvolge un numero elevato di attori, ciascuno dei quali persegue interessi ed obiettivi differenti: in tal senso viene comprovato come l'implementazione della tecnologia blockchain lungo la supply chain possa configurare una serie di vantaggi evidenti, riducendo i costi di transazioni e l'asimmetria informativa, incrementando il tasso di fiducia e cooperazione tra le parti e, da ultimo, scongiurando il rischio di frodi e di malfunzionamenti dell'intero processo tecnologico-produttivo. In ultima istanza, l'elaborato affronta un caso studio di rilevante importanza: a partire dal funzionamento della blockchain fino ad arrivare alla sua applicazione al settore dell'agro-alimentare, portando in rilievo i suoi benefici pratici.

Nel primo capitolo si offre una panoramica complessiva della tecnologia emergente, appunto, la blockchain. A partire dai lineamenti storici ed evolutivi, si delinea una prima implementazione del suo funzionamento: dal XV secolo fino ad oggi, l'argomento oggetto di studio subisce profonde trasformazioni, tanto nel pensiero quanto nel pratico utilizzo. Se ne indagano i precursori: l'isola di Yap ed il fenomeno delle pietre Rai e del libro mastro distribuito; David Lee Chaum e Nick Szabo, protagonisti dello sviluppo delle fondamenta e dell'architettura della catena di blocchi, fino ad arrivare al XXI secolo con Hal Finney, la Reusable Proof of Work e Satoshi Nakamoto. La linea del tempo delineatasi si conclude con il celebre Whitepaper, documento pubblicato nel 2008 ed all'origine dell'esordio della tecnologia come spina dorsale del sistema di pagamento elettronico digitalizzato – in assenza di intermediari e basato sul consenso condiviso – Bitcoin. Il medesimo capitolo esplora ed offre

una dettagliata overview del funzionamento della tecnologia, investigandone le peculiarità, i tratti distintivi ed il sistema di sicurezza che lo ha reso celebre. Prosegue con un esempio pratico del funzionamento della blockchain, cercando di comprendere come venga trasferito – in sostanza – il denaro all’interno della piattaforma utilizzato e come, nel corso del tempo, si siano sviluppate una serie di tipologie distinte di blockchain, dalla permissionless alla permissioned, definendone vantaggi e svantaggi che hanno poi portato ad uno studio ed un miglioramento incessante dell’architettura. Seguono le piattaforme, da Bitcoin – la più conosciuta tra l’opinione pubblica – fino ad arrivare ad Ethereum, la quale ha tentato di sanare una serie di lacune e mancanze proprie della prima. Da ultimo, perseguendo uno specifico interesse circa l’implementazione della blockchain in un ambito non prettamente finanziario, la sezione consente di evidenziare i settori di utilizzo, o futuro utilizzo, della tecnologia, connotandone le principali aree di innovazione, quanto quelle di miglioramento.

La sezione che segue ‘implementazione della tecnologia blockchain al sistema della supply chain management’ offre un’articolata panoramica riassunta nel titolo stesso. Partendo da una complessa definizione – che negli ultimi decenni ha visto un rapido evolversi – di supply chain management, il capitolo persegue l’obiettivo di offrire un dettagliato resoconto circa le funzionalità e peculiarità proprie della catena di approvvigionamento, focalizzando l’attenzione sui principali attori coinvolti, sui loro interessi e sulle finalità che ciascuno – egoisticamente – persegue. Proprio alla luce dei differenti obiettivi che ciascun partecipante alla catena di approvvigionamento tenta di realizzare, emerge la necessità di dar vita ad un sistema fondato sulla fiducia, sul consenso condiviso e sulla cooperazione: in tale contesto si è ritenuto indispensabile affrontare il tema dell’implementazione della tecnologia blockchain al funzionamento della supply chain management, delineando le motivazioni che si celano dietro questa scelta e quali aspetti di fondamentale importanza risulta necessario portare in luce. Tracciabilità e trasparenza si dimostrano essere gli aspetti che maggiormente colpiscono la combinazione tra blockchain e supply chain management, laddove la prima consentirebbe di ovviare alle principali criticità insite della seconda. Così come la collaborazione tra le parti interessate acquisisce rilevanza, concludendo con l’integrazione e la digitalizzazione della catena di approvvigionamento. Il capitolo si conclude portando in luce le motivazioni che

spingono i singoli attori a rivolgersi a tale fattispecie, ed evidenziando quali risultano essere, ad oggi, i fattori critici che possono portare alla concreta realizzazione di un sistema altamente complesso, capace di coinvolgere un crescente ventaglio di interessi.

Il terzo capitolo, estremamente influenzato dal quarto, approfondisce il tema dell'implementazione della blockchain alla filiera dell'agro-alimentare, servendosi di un caso studio ritenuto – sul piano tanto nazionale quanto internazionale – estremamente rilevante: il caso Trusty. Prima di trattare nello specifico del caso interessato, la sezione offre un focus sul funzionamento ed i meccanismi propri del settore agro-alimentare, evidenziando le necessità che, al giorno d'oggi, spingono le imprese a rivolgersi ad una tecnologia di questo tipo. Spunti interessanti avuto riguardo organizzazioni internazionali – la FAO, le Nazioni Unite – vengono delineati, per poter investigare a 360° le attuali circostanze. Il capitolo prosegue dando luogo ad una sistematica definizione circa le modalità di implementazione della blockchain alla filiera oggetto di indagine: IBM Food Trust rappresenta il precursore di tale applicazione, alla quale hanno fatto riferimento aziende internazionali del calibro di Walmart, Nestlé etc. Proprio a partire dalla collaborazione tra Apio S.r.l. (Ventur Builder) ed IBM, la start up italiana ha dato vita a Trusty, con l'obiettivo di sanare un fondamentale gap: le licenze di IBM risultavano estremamente onerose per imprese che non fossero del calibro delle due sopra riportate. Trusty si rivolge, dunque, principalmente alle PMI italiane ed alle cooperative operanti in paesi emergenti, nel tentativo di rendere democratico l'accesso alla tecnologia. Dopo averne delineato le peculiarità ed il funzionamento pratico, il capitolo prosegue esaminando un'implementazione di Trusty ad un'impresa italiana, Pastificio Mancini.

Il quarto ed ultimo capitolo, riporta l'intervista al CEO e Co-founder di Apio S.r.l., durante la quale vengono esaminati aspetti maggiormente qualitativi, iniziative e progetti internazionali, così come le prospettive future di Apio e, quindi, di Trusty.

L'elaborato tenta, complessivamente, di fornire uno spunto di riflessione avuto riguardo una tecnologia emergente che sta dimostrando un importante potenziale per gli sviluppi economici futuri. Nonostante l'opinione comune si sia concentrata negli ultimi anni sul concetto di Bitcoin,

la vera innovazione – che necessita di essere investigata profondamente – è la tecnologia che supporta tale piattaforma. Comprenderne il funzionamento ed i principali settori di implementazione si dimostra essenziale per sfruttarne le peculiarità.

L'ASCESA DELL'INTERNET OF VALUE: LA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

Ad oggi, scambiare file ed informazioni attraverso l'uso di internet risulta particolarmente semplice: chiunque può – ad esempio – inviare un'immagine o un'e-mail da una parte all'altra del mondo, e questo perché tali informazioni non vengono realmente trasferite, ma copiate ed inviate; in virtù di ciò, tanto chi manda quanto chi riceve tali dati, sarà in possesso di una copia identica del file. Inevitabilmente, però, il sistema fallisce laddove l'obiettivo ultimo del mittente e del destinatario sia quello di finalizzare un trasferimento di valore, proprio perché l'idea di copiare ed inviare denaro non si dimostra concretamente realizzabile. C'è, però, una soluzione che abilita la libera circolazione del valore attraverso internet, la quale rende possibili suddetti trasferimenti senza la necessità di intermediari ed evitando le duplicazioni: la blockchain. Tale tecnologia sembrerebbe rappresentare quella che oggi viene definita 'la nuova internet' (Vergine e Bortolotti, 2021), incarnando il cosiddetto Internet of Value, ovvero un sistema capace di realizzare concretamente scambi di valore su internet. Dunque, mentre da un lato Internet ha rivoluzionato la trasmissione di informazioni in tutto il mondo, dall'altro lato l'Internet of Value permette la trasmissione di valore in tutto il mondo, in modo immediato, sicuro e trasparente (Mejtoft, 2011). Tale nuova tipologia di Internet si basa – a tutti gli effetti – sulla tecnologia blockchain, facendo sì che le transazioni finanziarie possano essere eseguite direttamente tra le parti interessate, senza la necessità di intermediari, come banche o istituti finanziari. Difatti, l'idea alla base è proprio quella di creare un sistema finanziario – e non solo – globale che sia aperto, accessibile ed inclusivo per tutti, indipendentemente dalla posizione geografica o dallo status socio-economico dei singoli utenti. Nonostante si tratti di un passo rivoluzionario per la società odierna, ci sono ancora molte sfide da affrontare per concretizzare l'adozione

dell'Internet of Value su larga scala, tra cui regolamentazione, sicurezza e scalabilità (Warren et al, 2019).

1.1 L'AVVENTO DI UNA *DISRUPTIVE INNOVATION*: IL PRIMO FENOMENO BLOCKCHAIN

Il 31 ottobre 2008, durante uno dei periodo più sofferti dall'economia mondiale – la crisi dei mutui subprime – su una mailing list di crittografia (Cypherpunk) viene pubblicato il cosiddetto Whitepaper del Bitcoin, un breve scritto – appena 9 pagine – capace di fornire una prima descrizione circa il funzionamento del protocollo Blockchain (Nakamoto, 2008). 'Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system' rappresenta una tempestiva risposta alla crescente sfiducia che stava colpendo il mondo delle istituzioni ed il settore bancario, in particolar modo, alla luce del fallimento dell'americana Lehman Brothers e della britannica Northern Rock (Giglio, 2009). L'obiettivo perseguito da Satoshi Nakamoto – autore del Whitepaper rimasto costantemente nell'anonimato – viene di seguito testualmente citato:

“What is needed is an electronic payment system based on cryptographic proof instead of trust, allowing any two willing parties to transact directly with each other without the need for a trusted third party”. (Nakamoto, 2008)

Nakamoto ritiene necessario ed indispensabile dar vita ad un metodo di pagamento elettronico che si dimostri capace di esistere e sussistere al di là della presenza di un intermediario – le banche – e che non si fondi sulla fiducia che il pubblico ripone nelle istituzioni, quanto più su un sistema di crittografia capace di affermare trasparenza e privacy, dimostrandosi al contempo una vera e propria *disruptive innovation*.

Nick Szabo (2005), figura di fondamentale importanza nello scenario dello sviluppo della tecnologia blockchain – di cui si tratterà nello specifico nel corso del testo – riassume le motivazioni alla base di tale necessità:

“The problem, in a nutshell, is that our money current depends on trust in a third party for its value. As many inflationary and hyperinflationary episodes during the 20th century demonstrated, this is not an ideal state of affairs. Similarly, private bank note issue, while it had various advantages as well as disadvantages, similarly depended on a trusted third party”. (Szabo, 2005)

Lo stesso autore ci fornisce una prima definizione di bitcoin, intesa come una criptovaluta proof-of-work ^[1] a libro mastro distribuito ^[2]; e di blockchain, espressione di un registro all'interno del quale viene tenuta traccia di tutte le transazioni completate a partire dalla creazione della valuta (Walton, 2022). D'altra parte, la blockchain è considerata una forma di Distributed Ledger Technology (DLT), ovvero una tecnologia che consente di mantenere una versione condivisa di un registro digitale, in cui le transazioni vengono registrate e convalidate attraverso una rete distribuita di nodi (Li, 2021).

1.2 LINEAMENTI STORICI ED EVOLUTIVI

Per comprendere il reale funzionamento e l'obiettivo perseguito dalla tecnologia blockchain è, però, necessario fermarsi ed effettuare un passo a ritroso nel tempo, investigando la linea temporale che ha portato alla definitiva costituzione della tecnologia blockchain.

1.2.1 XV secolo. L'isola di Yap: le pietre Rai ed il libro mastro

L'isola di Yap – parte degli Stati Federati di Micronesia – inizia a diventare protagonista all'interno dei saggi di alcuni dei più grandi economisti del 1900 (John Maynard Keynes, Milton Friedman etc) alla luce di una forte peculiarità: il modello di pagamento e la moneta utilizzata dalla sua popolazione, la pietra Rai (Furness, 1910).

Dopo aver abbandonato la modalità del baratto, gli abitanti dell'isola propongono l'utilizzo di tali pietre quale oggetto di scambio per l'acquisto di beni e servizi. Le pietre potevano variare

^[1] Un sottoinsieme di utenti, chiamati "minatori", mantiene aggiornata la blockchain. Lo fanno compilando le transazioni che non sono ancora state aggiunte alla blockchain e diffondendo i nuovi blocchi in tutta la rete. Sono incentivati con Bitcoin appena conati, assegnati ai primi minatori che indovinano correttamente i rompicapo matematici ad alta intensità di calcolo associati ai nuovi blocchi: da qui, "proof-of-work".

^[2] La blockchain è conservata in più copie distribuite tra tutti i membri della rete: da qui, "libro mastro distribuito".

la loro dimensione, e quindi il loro valore: tanto maggiore era la loro portata, la loro storia e la difficoltà richiesta nell'estrazione di questi minerali, tanto più elevato si dimostrava il loro potere d'acquisto. Era proprio nella sua dimensione e fattispecie che si sarebbe nascosta la sua particolarità: le pietre Rai cambiavano proprietario – laddove sussistesse una transazione finalizzata all'acquisto di un bene – ma non si spostavano dalla loro posizione sull'isola. Tale tipologia di moneta infatti, passava da un proprietario all'altro attraverso dichiarazioni prettamente verbali ed atto di registrazione su un libro definito 'Il libro mastro' – ciascuno degli abitanti ne deteneva uno – all'interno del quale la comunità poteva tenere traccia delle transazioni che venivano effettuate nel villaggio e dei passaggi di proprietà delle diverse pietre: ciò consentiva alle pietre Rai di assolvere perfettamente al loro ruolo di riserva di valore, senza richiedere necessariamente il passaggio fisico – di mano in mano – della moneta di scambio (Ferri, 2020). A garantire il funzione di tale sistema erano la fiducia e la coscienza dell'intera comunità, poiché nessuno avrebbe mai potuto scambiare una pietra non di sua appartenenza, né tanto meno cercare di scambiare una pietra non più in suo possesso ^[3]. Il comportamento della popolazione abitante l'isola di Yap consente di definire come, l'aggiornamento del libro mastro rappresentasse un dovere ma, al contempo, un valore: qualora uno degli abitanti non avesse tempestivamente aggiornato il proprio libro mastro avrebbe – di conseguenza – perso la titolarità circa la proprietà della pietra, e quindi, il suo diritto di utilizzarla come oggetto di scambio per l'acquisto. Proprio in virtù di tali peculiarità ed assonanze – tra il funzionamento delle pietre Rai e quello della tecnologia blockchain – si è ritenuto fondamentale introdurre il concetto di blockchain attraverso una preliminare descrizione di quello che, a tutti gli effetti, sembra essere stato un vero e proprio precursore: l'isola di Yap e le pietre Rai. In questo modo, decentralizzazione e distribuzione rappresentano le fondamenta di un gestione condivisa del valore, permettendo di comprendere come si sia originata una prima e lontana versione della blockchain (Gentle, 2021).

^[3] Sulla base della fiducia riposta nei confronti della comunità e della veridicità delle transazioni riportate all'interno del libro mastro, veniva meno il cosiddetto problema del 'double-spending', uno dei timori di cui oggi soffrono le valute digitali.

1.2.2 XX secolo. I precursori: David Lee Chaum e Nick Szabo

Nonostante sia possibile ritrovare nel XV secolo le origini del più ampio concetto di blockchain, è solo alla fine del 1900 che tale tecnologia acquisirà una portata dirompente, rappresentando – a tutti gli effetti – una vera e propria *disruptive innovation*. Difatti, l'idea della finanza crittografica inizierà a prendere forma – agevolata dall'ascesa dell'intelligenza artificiale, dell'Internet of Things e dell'Internet delle persone – solo negli anni '80 del secolo scorso, senza però, generare troppo eco: inizialmente, infatti, ebbe risonanza esclusivamente tra una ristretta cerchia di specialisti di crittografia. L'obiettivo fondamentale, perseguito in origine, risultava essere la possibilità di dar vita ad una moneta definita *ideale*, ovvero priva dei difetti che caratterizzavano, invece, la moneta tradizionale. È proprio in tale contesto che emerge – dirompente e rivoluzionaria – la figura di David Lee Chaum, informatico e crittografo americano presso l'Università della California (Berkeley) e fondatore dell'International for Cryptologic Research (IACR), oggi ritenuto l'antenato della moderna crittografia come base della tecnologia blockchain (Iakovlev e Kruglova, 2021). Ad oggi, è stato affermato come, ad aver posto le basi per la teoria e la pratica delle comunicazione anonime sia stato un suo articolo “Untraceable Electronic Mail, Return Addresses, and Digital Pseudonyms” (Chaum, 1981). Famoso per aver sviluppato eCash, un'applicazione di denaro elettronico che mirava a preservare l'anonimato dell'utente (Ramiro e de Quieroz, 2022) e ritenuta al contempo la prima moneta digitale (o mezzo di pagamento elettronico) al mondo, Chaum descrisse – in “Blind Signatures for Untraceable Payments” (1983) i principi base della tecnologia di tale sistema: un sistema di denaro elettronico anonimo e centralizzato. L'obiettivo perseguito da Chaum era, infatti, quello di dar vita ad un modello di pagamento elettronico capace di preservare la peculiarità fondamentale della moneta contante: l'impossibilità di rintracciare i pagamenti, offrendo – quindi – una migliore privacy. In questo modo risultava possibile utilizzare sistemi di contanti elettronici ‘non tracciabili’ (Dreier et al, 2015). Allo stesso viene riconosciuto il merito di aver inventato una serie di protocolli crittografici e fondato DigiCash, una società di moneta elettronica (Ramiro e de Quieroz, 2022). Non solo Chaum fu responsabile di aver fatto luce sull'importanza dei protocolli crittografici, della privacy e della necessità di avanzare un modello di moneta digitale, ma anche la corrente dei *Cypherpunks* – un gruppo di informatici formato all'inizio degli anni '90 da attivisti crittografici (Amsyar et al, 2020) convinti che i

contratti crittografici avessero il potere di cambiare realmente lo stato attuale dell'economia – si dimostrò essenziale (Narayanan, 2013). Difatti, Chaum tentò, in un primo momento, di introdurre e diffondere l'utilizzo di un sistema di moneta basata sull'implementazione di contratti crittografici atti ad inviare moneta digitale (appunto, eCash) e provvisti di una cosiddetta *firma cieca* (blind signatures) nella sua azienda, DigiCash, ma con scarsi risultati: l'impresa fallì alla luce di due principali motivazioni (Chaum, 1983). Da un lato, i tempi si dimostrarono ancora troppo acerbi; dall'altro, perché la transazione avesse luogo veniva pur sempre richiesto il consenso centralizzato della Banca olandese, in questo senso il sistema perdeva completamente la peculiarità che lo avrebbe poi contraddistinto: la decentralizzazione e, quindi, l'assenza di intermediari (Camp et al, 1995).

Ai fini della definizione dell'attuale struttura blockchain si è dimostrato essenziale l'intervento ed il contributo di Adam Back, informatico e crittografo dell'Università dell'Exeter, con lo sviluppo della tecnologia HashCash (Back, 2002) finalizzata a combattere lo spam nelle e-mail ed espressione di una prima forma di Proof of Work (PoW). Il problema riscontrato da Back – ed il motivo per il quale HashCash fallì – è da ritrovarsi nel fatto che tale mezzo di pagamento poteva essere utilizzato una sola volta e, per ogni successiva transazione, era necessario che l'utente “estraesse” nuovamente i mezzi trasferiti. Al di là del suo fallimento però, tale sistema rappresentava una base tecnologica per la decentralizzazione dei sistemi di pagamento elettronici, proprio ciò in cui Chaum aveva fallito.

A rendere – in parte – concreto ciò che non era riuscito né al professor Chaum né tantomeno ad Adam Back fu Nick Szabo, uno dei massimi esponente della corrente dei Cypherpunks, specialista in informatica e giurisprudenza, nonché sostenitore della scuola economica austriaca (Iakovlev e Kruglova, 2021). A spingerlo ad approfondire il tema della crittografia e della riservatezza – interessandosi all'obiettivo di dar vita ad una moneta digitale svincolata da intermediari – furono proprio i suoi orientamenti di pensiero libertario: ciò consentì a Szabo, a metà degli anni '90, di formulare e – conseguentemente – implementare il concetto originale di *crypto-economy* (Wang, 2018), assolvendo ad un ruolo fondamentale circa la creazione della tecnologia blockchain ed, in particolare, dell'architettura bitcoin. Difatti, lo stesso –

coerentemente al punto di vista della scuola economica austriaca (White, 1984): rifiutando categoricamente l'interferenza dello Stato nella vita economica – propose “The idea of Smart Contract” (1994) ^[4] espressione di un'idea – rivoluzionaria – che avrebbe poi sviluppato nel 1996, pubblicando sulla rivista Extropy l'articolo “Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets”. Tale concetto si riassume nel fatto che l'economia digitale possa essere costruita senza la necessaria presenza di intermediari, senza la partecipazione di una terza parte in una questione ritenuta così importante e fondamentale come i rapporti di proprietà, compreso il trasferimento di valori.

“The basic idea of smart contracts is that many kinds of contractual clauses (such as liens, bonding, delincation of property rights, etc.) can be embedded in the hardware and software we deal with, in such a way as to make breach of contract expensive (if desired, sometimes prohibitively so) for the breacher. A canonical real-life example, which we might consider to be the primitive ancestor of smart contracts, is the humble vending machine”.

(Szabo, 1996)

L'autore riteneva che, il protocollo – anche definito codice del programma – dovesse verificare e garantire il rispetto dei termini del contratto in maniera autonoma, sostituendo ed assolvendo il ruolo svolto – fino a quel momento – dalle terze parti. Szabo sosteneva che tali intermediari rappresentassero una sorta di *buchi nella sicurezza*, potendo tramutarsi in una scappatoia, sia per la criminalità che per i rappresentanti dello Stato, in tempi di instabilità politica (Iakovlev e Kruglova, 2021). Al di là dell'innovazione rappresentata dallo smart contract – ad oggi caratteristica fondamentale del protocollo blockchain Ethereum (Zou et al, 2019) – il crittografo Szabo si è reso autore di un'ulteriore innovazione tecnica fondamentale: un registro decentralizzato pubblico, dal nome “Cryptographic Building Blocks”, di seguito definito.

^[4] Szabo, per primo, conìò il termine Smart Contract e ne diede una definizione (1994): “a smart contract is a computerized transaction protocol that acts the terms of a contract. The general objectives of smart contract design are to satisfy common contractual conditions (such as payment terms, liens, confidentiality, and even enforcement), minimize exceptions both malicious and accidental, and minimize the need for trusted intermediaries. Related economic goals include lowering fraud loss, arbitration and enforcement costs, and other transaction costs”.

“Protocols based on mathematics, called cryptographic protocols, are the basic building blocks. Contrary to the common wisdom, obscurity is often critical to security. Cryptographic protocols are built around a focus of obscurity called keys”. (Szabo, 1996)

Da ultimo, lo stesso Szabo, ha dato vita al progetto BitGold – mezzo di pagamento decentralizzato – nel 1996, sul quale si basava ciò che sarebbe poi diventato il famoso meccanismo di consenso del Bitcoin: il consenso della Proof of Work (PoW) (Gabashvili et al, 2022). Il progetto BitGold perseguiva l’obiettivo di presentare quello che Szabo riteneva essere un modello di moneta ideale. Quest’ultima avrebbe dovuto contare su tre aspetti fondamentali (Iakovlev e Kruglova, 2021):

1. Essere protetta da perdite accidentali e furti;
2. Essere difficile da falsificare;
3. Concentrarsi sulla dimensione semplice del valore.

L’idea dell’autore era quella di creare un’equivalente digitale – migliorato – dell’oro, in virtù della sua rarità e – soprattutto – della sua indipendenza (il valore dell’oro, così come quello della moneta ideale, non poteva dipendere da terzi). Di seguito, lo stesso Szabo (1996) spiega le intenzioni che hanno portato alla definizione del BitGold:

"Precious metals and collectibles have an unforgeable scarcity due to the costliness of their creation. This once provided money the value which was largely independent of any trusted third party. Precious metals have problems, however. It's too costly to assay metals repeatedly for common transactions. Thus, it would be very nice if there were a protocol whereby unforgeably costly bits could be created online with minimal dependence on trusted third parties, and then securely stored, transferred, and assayed with similar minimal trust”.
(Szabo, 1996)

Alla luce di quanto sopra, il concetto di BitGold si basa sulla negazione del controllo totale del settore finanziario da parte dello Stato, inteso come nella persone del governo e delle sue

organizzazioni. D'altra parte, il concetto di BitGold è il diretto precursore dell'architettura Bitcoin. Tra i tanti meriti che vanno riconosciuti al crittografo, è – forse – stato proprio questo a rendere l'informatico una delle pietre miliari nell'innovazione delle valute digitale, sebbene poi, il progetto (PoW) non si sia totalmente concretizzato (Narayanan e Clark, 2017).

1.2.3 XXI secolo. La Reusable Proof of Work e Satoshi Nakamoto

Nel 1999, fu Hal Finney – professore di crittografia – a sopperire al fallimento di Adam Back e di Nick Szabo, introducendo la cosiddetta Reusable Proof of Work (RPoW). Attraverso la formulazione e l'implementazione dell'algorithm RPoW, Finney ha tentato di dar vita ad un vero e proprio prototipo di denaro digitale (Āriņš, 2019). Difatti, va dato il merito a Finney (2004) di aver posto in essere un sistema – la RPoW – capace di risolvere il noto problema della doppia spesa ^[5], attraverso la possibilità di mantenere la proprietà dei token registrata su un server fidato, dove gli utenti via internet avrebbero potuto verificare la correttezza e l'integrità dei token in tempo reale. Proprio per questo motivo la RPoW è espressione di un'evoluzione fondamentale all'interno del pattern delle criptovalute. A consacrare tale ciclo, originatosi con David Lee Chaum, sarà proprio il Whitepaper di Satoshi Nakamoto 'Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system', all'interno del quale viene delineata una prima e chiara proposta del sistema Bitcoin – espressione del primo sistema di denaro elettronico – fino ad oggi la più popolare innovazione basata su blockchain (Nakamoto, 2008). Bitcoin si basa su un lavoro iniziale RPoW – dando merito a Finney della sua innovazione – e funziona come un protocollo decentralizzato peer-to-peer finalizzato al tracciamento ed alla verifica delle transazioni, come precedentemente operato dagli abitanti dell'isola di Yap per tramite del libro mastro. Satoshi Nakamoto, il nome con cui è stato pubblicato l'articolo su Bitcoin, è in realtà uno pseudonimo, ed il vero autore – o i gruppi di autori – è ancora del tutto sconosciuto (Āriņš, 2019) ^[6]. Di seguito viene riportato – testualmente – l'abstract presente all'interno del Whitepaper, capace

^[5] Per un maggior approfondimento circa il significato del concetto *double-spending* vedi nota 3.

^[6] È interessante, però, che Hal Finney abbia partecipato come ricevitore alla primissima transazione di Bitcoin, dove ricevette 50 blocchi da Satoshi Nakamoto (Popper, 2015). Si evidenzia – con curiosità – come, finora, sia stato anche l'unico ed il solo ad aver ricevuto blocchi di bitcoin da Satoshi Nakamoto, suscitando in molti il pensiero che sia proprio la sua persona a celarsi dietro la figura di Nakamoto. Ciononostante, lo stesso Finney ha pubblicamente dichiarato di non essere lui.

di riassumere ciò che ha spinto Nakamoto ad investire nella formulazione di tale tecnologia ed i primi cenni circa il suo effettivo funzionamento:

" A purely peer-to-peer version of electronic cash would allow online payments to be sent directly from one party to another without going through a financial institution. Digital signatures provide part of the solution, but the main benefits are lost if a trusted third party is still required to prevent double-spending. We propose a solution to the double-spending problem using a peer-to-peer network. The network timestamps transactions by hashing them into an ongoing chain of hash-based proof-of-work, forming a record that cannot be changed without redoing the proof-of-work. The longest chain not only serves as proof of the sequence of events witnessed, but proof that it came from the largest pool of CPU power. As long as a majority of CPU power is controlled by nodes that are not cooperating to attack the network, they'll generate the longest chain and outpace attackers. The network itself requires minimal structure. Messages are broadcast on a best effort basis, and nodes can leave and rejoin the network at will, accepting the longest proof-of-work chain as proof of what happened while they were gone". (Nakamoto, 2008)

D'altra parte, il Whitepaper di Nakamoto non rappresenta esclusivamente l'esordio della tecnologia blockchain – da lui mai opportunamente citata all'interno del testo – e del sistema di pagamento Bitcoin, quanto più riassume in sé quello che – a posteriori – prenderà l'appellativo di 'Blockchain 1.0' (Iakovlev e Kruglova, 2021). Tale versione persegue l'obiettivo fondamentale di implementare il principio delle transazioni senza la necessità di fare affidamento a terze parti, dimostrando come un sistema di denaro digitale – completamente decentralizzato e distribuito (blockchain permissionless ^[7]) – sia capace di funzionare correttamente, permettendo di trasferire (anche se su scala limitata, avuto specifico riguardo tale prima versione) informazioni in maniera efficace ed affidabile, consentendo – quindi – di allocare efficientemente le risorse (Aggarwal e Kumar, 2021).

^[7] Per un maggior approfondimento v. paragrafo 1.4 'Tipologie di blockchain: permissionless vs permissioned'

1.3 LA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN: PECULIARITÀ E FUNZIONAMENTO

Dopo aver tracciato una linea del tempo, capace di guidare i numerosi step evolutivi che hanno – conseguentemente – portato ad una prima definizione della tecnologia blockchain – quale spina dorsale del sistema Bitcoin – il seguente paragrafo indaga peculiarità e funzionamento di tale sistema, sviscerandone le principali criticità.

La blockchain – letteralmente catena di blocchi – viene definita come un libro mastro ^[8] digitale distribuito, capace di memorizzare qualsiasi tipo di dati. All'interno della catena ogni blocco si struttura su cinque differenti elementi (Comandini, 2020):

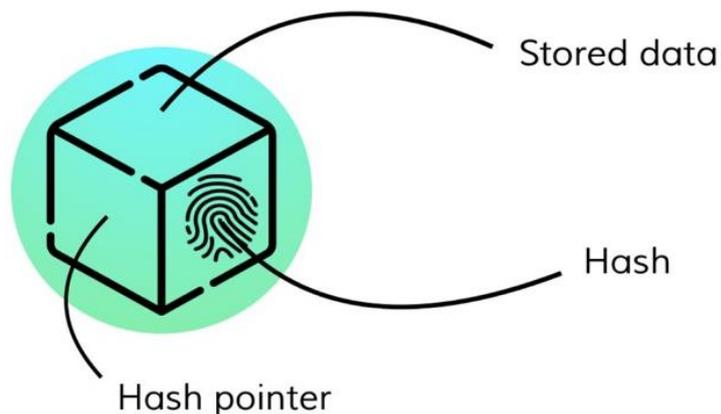


Figura 1. Gli elementi di un blocco

(Lizard Global, 2020)

1. STORED DATA

Si tratta delle informazioni che vengono memorizzate all'interno di quel determinato blocco a seguito di un'avvenuta transazione. Generalmente, il tipo di informazioni e dati contenuti nel blocco dipendono dalla tipologia di blockchain a cui si fa riferimento. Ad esempio, nel caso della blockchain di bitcoin il blocco memorizzerà i dati della transazione, quali mittente,

^[8] In contabilità, il libro mastro è espressione di un registro (o schedario) – o ledger in questo caso – all'interno del quale vengono raccolti tutti i conti di un dato sistema di scritture (Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani).

destinatario ed importo della transazione (intesa come quantità di bitcoin che viene scambiata tra le due parti);

2. HASH

L'hash si sostanzia in una stringa di numeri e lettere – codice alfanumerico – che permette di identificare la natura del blocco. Si tratta, a tutti gli effetti, di una sorta di impronta digitale del blocco che ne consente l'identificazione anche a posteriori. Non esiste un codice hash che sia identico ad un altro, in virtù del fatto che l'hash rappresenta un codice alfanumerico unico e specificatamente formulato per quel determinato blocco e che detiene al proprio interno determinate informazioni, anch'esse ritenute uniche. Dunque, ogni qualvolta venga creato un nuovo blocco, viene – di conseguenza – calcolato anche un nuovo hash, pur sempre unico e specifico per quel blocco. Si sottolinea che, laddove qualche dato all'interno del blocco dovesse cambiare, l'hash stesso cambierà la propria composizione;

3. HASH POINTER

Un ulteriore elemento di cui si compone un qualsiasi blocco parte della catena è l'hash del blocco precedente. È proprio tale peculiarità a dare origine alla catena, facendo sì che ciascun blocco contenga le informazioni del blocco precedente, rendendo i blocchi concatenati tra loro ed indivisibili. Tale elemento rappresenta uno dei fattori per i quali la blockchain viene considerata così sicura: al modificarsi di anche solo uno dei blocchi, tutti i successivi subiranno necessariamente una modifica, contenendo ciascuno l'hash del blocco che lo precede.

4. TIMESTAMP

Ogni blocco ha un timestamp che indica il momento – data e ora – in cui è stato creato. Tale peculiarità si dimostra indispensabile per far sì che venga meno il problema del double-spending.

5. NONCE

Un nonce è un numero casuale utilizzato dagli algoritmi di consenso per creare l'hash del blocco. I nodi nella rete blockchain lavorano per trovare il nonce corretto che genererà un hash valido per il blocco.

Complessivamente, questi elementi lavorano insieme per creare un blocco sicuro ed immutabile nella blockchain. L'hash del blocco precedente consente ai blocchi di essere collegati tra loro, i dati delle transazioni garantiscono l'integrità delle transazioni stesse, il timestamp consente di tenere traccia del momento in cui è stata effettuata una transazione e il nonce e l'hash del blocco sono utilizzati per garantire la sicurezza e l'immutabilità della blockchain.

Ad oggi, tale tecnologia può registrare informazioni avuto riguardo le transazioni di criptovaluta – lo scopo principale che perseguiva quando è stata formulata da Satoshi Nakamoto nel 2008 ed implementata, conseguentemente, nel 2009 – ma può essere utilizzata anche per registrare e conservare in sicurezza altre tipologie di informazioni e dati: dagli smart contracts alle cartelle cliniche, fino ad arrivare alla realizzazione di opere d'arte digitali – tutelandone la proprietà – come nel caso degli NFT ^[9]. Nonostante si assuma che qualsiasi database da noi conosciuto sia in grado di memorizzare tale tipologia di informazioni, ciò che rende unica la blockchain – ed il fondamentale motivo dietro al suo successo e clamore – è da ricercare nel fatto che si tratti di un sistema completamente decentralizzato (Rodeck e Curry, 2022), i cui dati risultano immutabili e contrassegnati da un timestamp (Aggarwal e Kumar, 2021). La consequenzialità temporale delle transazioni rappresenta un aspetto di fondamentale importanza, laddove altrimenti si incorrerebbe nel noto problema del *double-spending*. Originariamente, si era ritenuto che, tale problema si sarebbe potuto risolvere attraverso il tracciamento di tutte le transazioni avvenute all'interno di un unico libro mastro centralizzato attendibile. Ma la centralizzazione avrebbe richiesto a tutte le parti operanti all'interno del

^[9] I token non fungibili (NFT) basati sulla blockchain sono oggetti digitali spesso legati a materiale digitale unico, come musica o fotografie. Un mercato multimiliardario di NFT è apparso da un giorno all'altro grazie a una recente ondata di interesse pubblico. Le collezioni di NFT vengono prodotte da marchi come Coca-Cola, Nike e artisti convenzionali come Damien Hirst e Grimes, oltre che da aziende di beni di consumo tradizionali. I singoli NFT possono arrivare a valere milioni o decine di milioni di dollari (Ghelani, 2022).

network di fidarsi del manutentore del libro mastro, il quale avrebbe assolto alla funzione di entità *super partes*. Proprio per ovviare tale impasse, la tecnologia blockchain fornisce un meccanismo di fiducia distribuito, laddove più parti detengono una copia del registro delle transazioni ed ogni parte ha la responsabilità di verificare che l'ordine ed i timestamp delle transazioni non siano stati manomessi. Ciò fa sì che, a differenza dei convenzionali database, all'interno dei quali le informazioni vengono registrate in un'unica posizione e, quindi, gestite da una figura centralizzata, la tecnologia blockchain preveda la creazione di blocchi di informazioni identici – libro mastro – conservate da più utenti – i nodi ^[10] – sparsi sulla rete in tutto il mondo ^[11]. Come precedentemente anticipato, l'appellativo *blockchain* non si è dimostrato affatto casuale: difatti, lo stesso libro mastro digitale viene descritto come una sorta di 'catena' composta a sua volta da singoli 'blocchi' di dati e, nel momento in cui nuove informazioni vengono elaborate dalla rete, un nuovo blocco viene creato ed aggiunto alla catena preesistente. Di fondamentale importanza, nell'istante in cui una nuova transazione viene effettuata e nuovi dati vengono processati, risulta l'aggiornamento simultaneo, da parte di tutti i nodi della rete, della loro versione del libro mastro. Difatti, in virtù del sistema di decentralizzazione che contraddistingue tale tecnologia, non solo ciascun nodo detiene un proprio libro mastro digitale – all'interno del quale viene tenuta traccia di qualsiasi transazione

^[10] In una rete blockchain, un nodo è un computer o un dispositivo che partecipa alla rete e contribuisce alla sua operatività. Ogni nodo possiede una copia completa della blockchain e lavora insieme agli altri nodi per verificare le transazioni e aggiornare la blockchain. I nodi nella rete blockchain possono differire in base al loro ruolo, alla quantità di potenza di calcolo o di risorse di cui dispongono, alla loro sicurezza e alla loro capacità di partecipare attivamente alla rete, e possono essere classificati in diverse categorie a seconda del ruolo che svolgono (Elrom, 2019):

– **Full node**: un full node, o nodo completo, è un nodo che possiede una copia completa della blockchain e partecipa attivamente alla verifica delle transazioni e alla creazione di nuovi blocchi. I full node sono considerati nodi critici nella rete blockchain in quanto contribuiscono alla sicurezza e alla decentralizzazione della rete;

– **Lightweight node**: un lightweight node, o nodo leggero, non possiede una copia completa della blockchain, ma invece si connette a un full node per ottenere informazioni sulla blockchain. Questo tipo di nodo richiede meno risorse rispetto ai full node ma è meno sicuro;

– **Masternode**: un masternode è un tipo di nodo utilizzato in alcune blockchain per fornire servizi aggiuntivi alla rete, come la gestione delle transazioni, la votazione sulla governance della rete e la sicurezza della rete;

– **Miner**: un miner, o minatore, è un tipo speciale di nodo che partecipa alla creazione di nuovi blocchi nella blockchain. I miners utilizzano la loro potenza di calcolo per risolvere complessi problemi matematici, e in cambio ricevono una ricompensa in criptovaluta;

– **Validator**: un validator, o validatore, è un tipo di nodo utilizzato in alcune blockchain per verificare le transazioni e partecipare alla creazione di nuovi blocchi. I validatori sono selezionati sulla base di determinati criteri, come ad esempio la quantità di criptovaluta posseduta o il loro ruolo nella rete.

^[11] Il fatto di conservare blocchi di informazioni identiche su più computer ne determina la peculiarità di database *distribuito*.

avvenuta – ma ogni libro mastro deve essere identico per tutti i nodi. L’aggiornamento costante, conseguente a ciascuna transazione, da parte di ogni nodo, si dimostra quindi essenziale per il corretto funzionamento del sistema e per impedire che utenti malintenzionati minino la sicurezza della rete (Meunier, 2018). Ed è proprio tale sicurezza a rappresentare una delle principali peculiarità del modello blockchain: l’aspetto chiave per cui viene considerata altamente sicura è da ricercare nella metodologia e nel processo che porta alla creazione di nuovi blocchi. Nel momento in cui qualsiasi utente – attivo ed operante all’interno della rete blockchain – effettua una transazione, le informazioni della suddetta transazione vengono simultaneamente condivise all’interno della rete ed a tutti i nodi spetta l’onere di verificare e confermare la legittimità dei nuovi dati (Rodeck e Curry, 2022). Laddove le informazioni contenute all’interno dello scambio siano reputate idonee ^[12], un nuovo blocco – contenente tali dati – viene creato ed ‘agganciato’ alla catena in maniera irreversibile. Il minimo comune denominatore richiesto dalla piattaforma, perché la transazione possa essere finalizzata ed il nuovo blocco aggiunto alla catena, è la condivisione a tutti i nodi delle informazioni ed il raggiungimento del consenso maggioritario: nessuna transazione può essere approvata in maniera centralizzata, nessuno dei nodi può autonomamente e singolarmente dare il nulla osta ad una transazione, ma è necessario che almeno una maggioranza vagli la validità dell’operazione ^[13]. In questo senso, prende forma il concetto di consenso distribuito, laddove solo in presenza di tale consenso il blocco può essere definitivamente – ed irreversibilmente – aggiunto alla catena e, di conseguenza, le transazioni sottostanti registrate nel libro mastro distribuito: d’altra parte, i blocchi risultano essere collegati tra loro in modo sicuro, formando una vera e propria catena digitale dall’inizio del libro mastro – 2008, anno in cui venne data vita al blocco genesi da Nakamoto – ad oggi (Comandini, 2020).

Potrebbe sorgere, a questo punto, un problema all’interno del network: i ritardi della rete potrebbero, infatti, far sì che le transazioni arrivino in ordine diverso e che alcuni

^[12] Nel caso delle criptovalute, di cui si approfondirà di seguito, affermare l’idoneità significa, ad esempio, confermare che la transazione in oggetto non sia fraudolenta o che le monete oggetto di scambio non siano già state utilizzate per ultimare altre transazioni (double-spending).

^[13] Non sussistono intermediari o parti terze che accentrano il potere del sistema: ciascun nodo è parte fondamentale del sistema e senza il consenso di una maggioranza, nessuna decisione può essere presa.

malintenzionati colgano l'occasione per tentare di inserire all'interno dei loro registri una serie di transazioni non veritiere. In tale scenario, ad efficientare il sistema di sicurezza su cui la tecnologia blockchain si fonda, oltre al concetto di consenso distribuito di cui sopra, interviene il complicato processo che porta al raggiungimento di tale consenso: il processo di mining. Difatti, i nodi hanno la responsabilità di mettersi d'accordo, l'uno con l'altro, su come agire per aggiornare nello stesso modo le copie del libro mastro e per farlo devono raggiungere un consenso sulla versione corretta del registro: solo una catena di blocchi può risultare idonea, motivo per il quale laddove ci fosse dissonanza tra due catene avuto riguardo specifiche transazione, sarà necessario ed indispensabile sanare la suddetta difformità. Dal loro lato, le transazioni sono protette utilizzando la crittografia, motivo per il quale l'unico modo che i nodi hanno di confermare la legittimità di una transazione – e, quindi, di raggiungere il consenso maggioritario – è attraverso la risoluzione di complesse equazioni matematiche (Ammous, 2016). Quest'ultimo concetto prende il nome di Proof of Work (PoW), espressione di un aspetto di fondamentale importanza all'interno del meccanismo blockchain, il quale si sostanzia – come sopra riportato – in operazioni matematiche ritenute estremamente difficili di risolvere ma la cui corretta soluzione risulta facilmente verificabile. Ciò implica che non tutti i nodi appartenenti alla rete debbano risolvere il suddetto 'rompicapo': è sufficiente che uno solo dei nodi – i quali prendono l'appellativo di minatori – finalizzi la Proof of Work trasmettendo al resto della rete la soluzione con annesso il blocco contenente le diverse transazioni processate ^[14]. A quel punto, gli altri nodi saranno chiamati a verificare che si tratti della corretta soluzione ^[15] dando luogo al processo di votazione. Alla luce del fatto che su internet nulla impedirebbe ad una singola persona di votare più volte, attraverso la creazione di un elevato numero di utenti sotto falso nome, all'interno del funzionamento blockchain non viene riconosciuto il peso di un voto a ciascun utente (1 utente \neq 1 voto). Ad essere tenuti in considerazione per una corretta formulazione del processo di voto sono i CPU e, solo quando il 51% della potenza di elaborazione della rete (CPU) avrà votato positivamente all'approvazione della catena, i nodi

^[14] Il processo che porta alla risoluzione della Proof of Work da parte di uno dei minatori prende il nome di **mining**.

^[15] Si tratta di un'operazione molto più semplice da realizzare per i nodi rispetto alla risoluzione: l'accuratezza e l'idoneità delle transazioni, così come la correttezza della soluzione, infatti, vengono verificate rapidamente ed economicamente.

inizieranno a registrare le nuove transazioni all'interno di un nuovo blocco, modificando tutti i blocchi precedenti, ed agganciandolo alla catena (Ammous, 2016).

Da ultimo, tale tecnologia prevede – inevitabilmente – un sistema di incentivi atto a ricompensare gli sforzi posti in essere per la risoluzione della Proof of Work: i minatori sono, infatti, ricompensati attraverso l'erogazione di nuove quantità di valuta nativa della blockchain ^[16]. Tale ricompensa è, quindi, capace di rendere il lavoro svolto dai nodi potenzialmente redditizio, nonostante la stessa tecnologia blockchain venga definita – per antonomasia – una tecnologia di verifica, in quanto risulta molto più costoso risolvere la Proof of Work piuttosto che verificarne la correttezza (Islam et al, 2021). Alla luce di tale contesto, è possibile affermare come il funzionamento della blockchain dipenda interamente ed inevitabilmente dalla corretta risoluzione della Proof of Work da parte dei minatori e, di seguito, dal voto favorevole circa la validità della soluzione da parte dei nodi che impiegano CPU. Emerge – nuovamente – chiara l'importanza fondamentale del meccanismo di decentralizzazione della tecnologia blockchain: anche in questo caso, la validità della transazione non è stabilita né gestita da nessuna autorità centrale, ma è il consenso diffuso e la fiducia distribuita dei membri della rete – che detengono la CPU maggioritaria – a stabilire tale validità.

1.3.1 Il sistema di sicurezza

Per comprendere il sofisticato sistema di sicurezza che contraddistingue ed esalta la tecnologia blockchain si può ipotizzare di avere tre blocchi all'interno della catena (Figura 2), dove il primo blocco – non avendo alcun blocco precedente a cui agganciarsi e, quindi, nessuno hash pointer – prende il nome di blocco genesis.

^[16] Nel caso della blockchain bitcoin, ad esempio, i minatori vengono ricompensati attraverso l'erogazione di nuovi bitcoin.

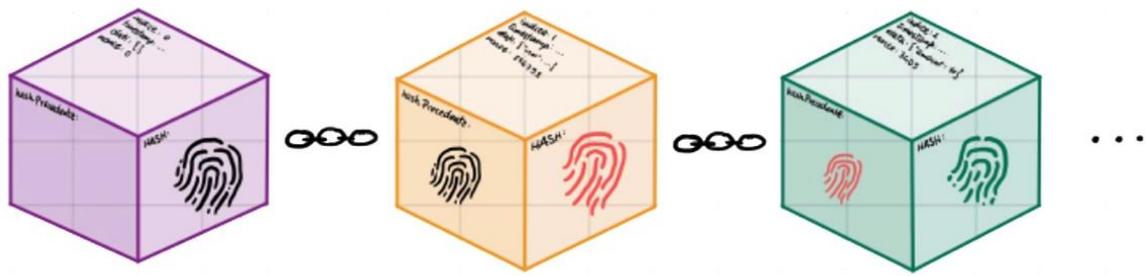


Figura 2. La catena di blocchi

(Atobit, 2022)

Nell'eventualità in cui il secondo blocco venisse in qualche modo hackerato da un utente malintenzionato, l'hash del blocco 2 verrebbe di conseguenza modificato, rendendo l'hash del blocco numero 3 invalido e questo perché il blocco 3 non conterrebbe più l'hash pointer (hash del blocco precedente) valido, compromettendo così anche la validità di tutti i blocchi successivi (ciascuno dei quali conterrebbe un hash pointer ritenuto invalido) (Zhang, 2019). Sebbene sia ritenuto estremamente efficace, il sistema degli hash, da solo, non è capace di prevenire manomissioni ^[17]. I computer di oggi, infatti, sono estremamente veloci e possono calcolare migliaia di hash al secondo, permettendo di manomettere un blocco e ricalcolare tutti gli hash dei blocchi presenti lungo la catena per rendere nuovamente valida la blockchain. In tale contesto, il protocollo crittografico che prende – appunto – il nome di Proof of Work rappresenta una valida difesa contro possibili attacchi rivolti alla catena di blocchi. Difatti, la PoW si sostanzia in una richiesta di calcoli aggiuntivi, necessari – in questo caso – a rallentare la creazione di nuovi blocchi. In questo modo, la PoW rende molto più complessa la creazione di eventuali operazioni di hackeraggio della blockchain. Prendendo a riferimento il funzionamento bitcoin, occorrono una decina di minuti per risolvere la proof of work e, di conseguenza, per dare vita ad un nuovo blocco alla catena (Leona, 2018). Questo meccanismo rende remota la possibilità di manomettere i blocchi, proprio perché laddove un blocco venisse

^[17] L'unico modo per manomettere i dati preservando l'hash sarebbe trovare una collisione nei dati, e questo si dimostra praticamente impossibile dal punto di vista computazionale. Richiederebbe una potenza di calcolo così elevata da essere praticamente antieconomica (Di Pierro, 2017).

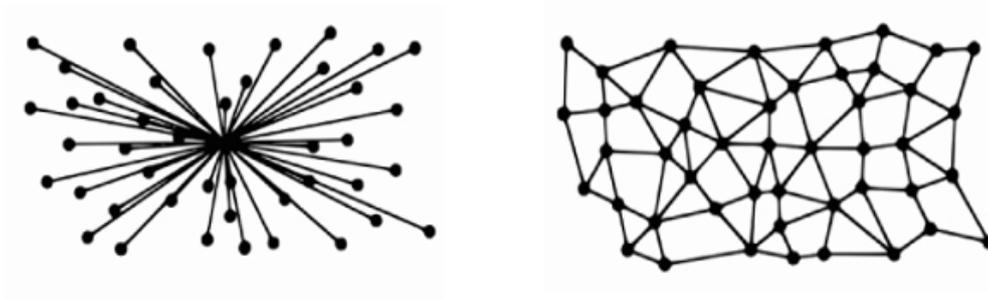
hackerato, oltre al calcolo dei singoli hash sarebbe necessario ricalcolare anche la PoW per tutti i singoli i blocchi, richiedendo tempi estremamente dilatati.

Un'altra caratteristica che garantisce la sicurezza – ed al tempo stesso una delle sue principali peculiarità – è la decentralizzazione. Il fatto di utilizzare una rete p2p – alla quale chiunque può accedere – consente a ciascun nodo di detenere una copia completa della catena in oggetto. Ciò fa sì che, qualora qualcuno crei un nuovo blocco, prima di essere approvato ed agganciato irreversibilmente alla restante catena, tutti i nodi devono verificare che il blocco di nuova origine non sia stato manomesso.

1.3.2 Gli aspetti fondamentali della tecnologia blockchain

Aggarwal e Kumar (2021) riassumono quanto sopra riportato, avuto riguardo le principali caratteristiche che contraddistinguono il funzionamento della tecnologia blockchain.

- Decentralizzazione dell'archiviazione dei dati, attraverso l'utilizzo di un database distribuito (Figura 3);
-



A

Il sistema centralizzato ha un'autorità centrale che invia le informazioni agli altri.

Solo gli utenti autenticati possono accedere alla cronologia delle transazioni.

B

Il sistema distribuito non ha un'autorità centrale che invia le informazioni agli altri.

Ogni partecipante alla rete può accedere alla cronologia delle transazioni.

Figura 3. Dal sistema centralizzato **A** al sistema distribuito **B**

(Aggarwal e Kumar, 2021)

- Eliminazione dell'autorità centrale competente a verificare le transazioni in un sistema centralizzato, attuando una considerevole riduzione dei costi di transazione annessi ^[18];
- I dati memorizzati lungo la catena di blocchi risultano essere protetti crittograficamente, così come le informazioni personali degli utenti registrati risultano essere nascoste usando complessi principi crittografici. La privacy è garantita dal fatto che non vengono visualizzati i nominativi degli utenti, ma dei codici alfanumerici non direttamente riconducibili alle identità dei legittimi proprietari;
- La catena è di natura immutabile, motivo per il quale una volta autorizzata una transazione e, quindi, aggiunto un blocco, nessun nodo può manomettere i dati preesistenti, essendo questi protetti da una specifica funzione hash crittografica (Bianchi et al, 2019);
- Trasparenza in una rete peer-to-peer, laddove tutte le transazioni vengono opportunamente registrate all'interno di un libro mastro pubblico immutabile condiviso, aperto ed accessibile a tutti (blockchain permissionless). Difatti, chiunque potrà vedere le transazioni effettuate e, di conseguenza, i vari saldi di ogni conto;
- La sicurezza rappresenta uno dei vantaggi principali della tecnologia: qualora un utente malintenzionato tentasse di falsificare un singolo blocco, l'intera catena blockchain verrebbe falsata in altri milioni di server, rendendo l'atto pressoché impossibile da concretizzarsi (*v. paragrafo 1.3.3*);
- Introduzione del concetto di Proof of Work volto a rendere la tecnologia in oggetto unica, in quanto combinata – visceralmente – ad un'elevata potenza computazionale (CPU), attraverso l'uso di nodi collegati alla rete, i quali risultati responsabili circa la risoluzione e la verifica delle transazione e la protezione del libro mastro pubblico;
- Obiettivo di trasmettere le informazioni tra i nodi della rete in modo completamente automatizzato e sicuro;

^[18] Nonostante alla blockchain sia dato il merito di ridurre i costi di transazione attraverso l'eliminazione della figura dell'intermediario, è necessario tenere in considerazione che registra un costo di infrastruttura estremamente elevato, il quale impedisce – ad oggi – di registrare un valido bilanciamento tra costi e benefici.

1.3.3 Il trasferimento di denaro. Come funziona davvero la blockchain?

Ogni ricerca teorica richiede – per essere completamente compresa – di assumere una forma pratica. Allo stesso modo si ritiene di fondamentale importanza la possibilità di investigare il funzionamento – alla luce di quanto sopra – della tecnologia blockchain per tramite dell’analisi della criptovaluta che le ha dato origine: Bitcoin. Difatti, blockchain nasce a tutti gli effetti come spina dorsale del sistema di pagamento elettronico decentralizzato peer-to-peer bitcoin, nonostante – ad oggi – si ritenga interessante sperimentare l’utilizzo della tecnologia in oggetto anche in altri settori di business. Di seguito si riporta un pratico esempio, relativo ad un trasferimento di valore – bitcoin – tra due soggetti (Figura 4).

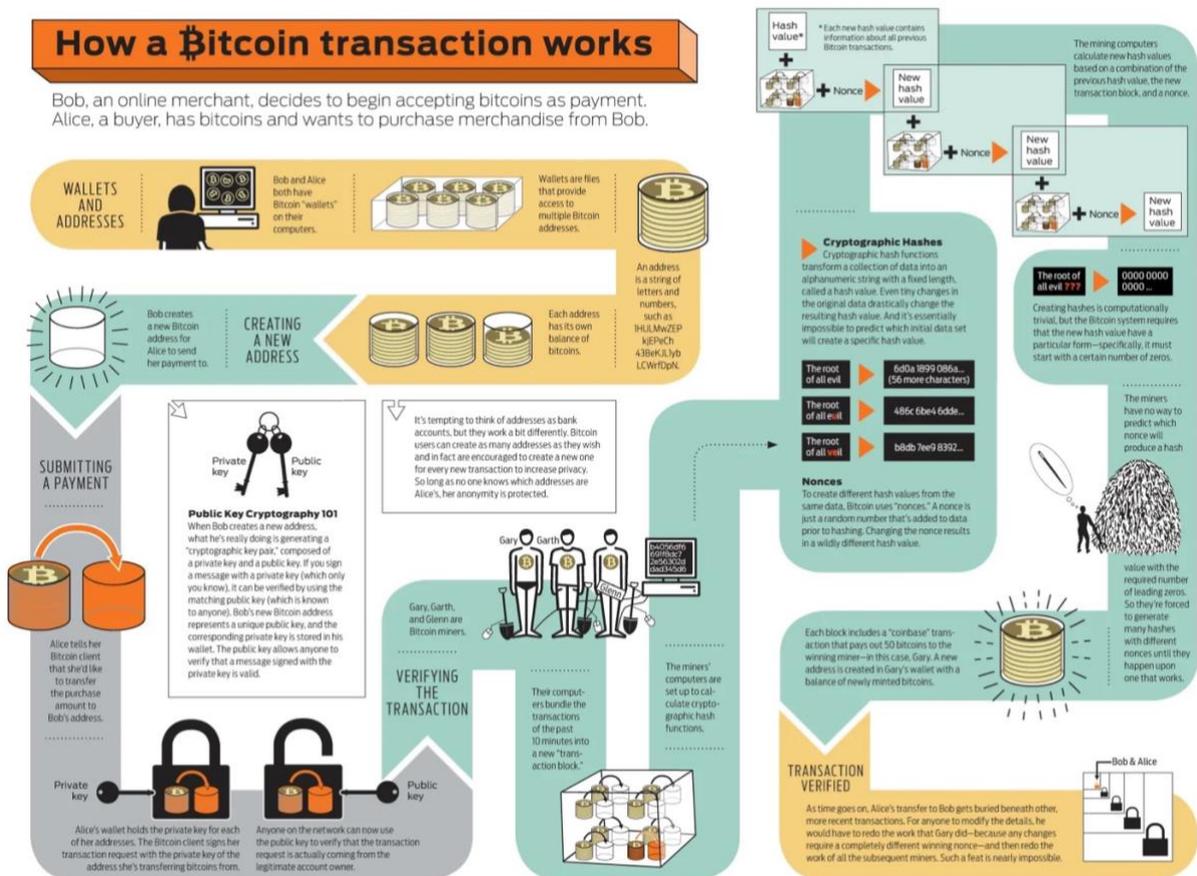


Figura 4. Come funziona la tecnologia blockchain

(Gizmodo, 2013)

Il soggetto **X** desidera inviare del denaro al soggetto **Y**. Per farlo, **X** dovrà scrivere un messaggio all'interno del quale andrà ad indicare il suo numero di conto (in qualità di mittente), quello del destinatario (**Y**) e l'ammontare da trasferire, espresso – in questa specifica circostanza – in bitcoin. Il soggetto **X** dovrà poi firmare tale messaggio con la propria chiave crittografica ^[19] e trasmetterlo a tutto il network e, quindi, a tutti i nodi. In questo caso la firma serve a garantire l'autenticità e l'attendibilità della transazione; difatti, la stessa – generata grazie all'utilizzo della crittografia – è associata ad una chiave privata, unica e segreta collegata in maniera univoca al conto di **X** ^[20]. Tutto ciò rende tale firma impossibile da copiare e riutilizzare su altre transazioni, e grazie alle sue peculiarità, risulterà anche semplice verificarne la correttezza.

A questo punto tale transazione – espressione del messaggio inoltrato da **X** – viene inviata a tutti i partecipanti del network sparsi per il mondo che svolgono l'attività di validatori e che, quindi, controlleranno la firma per verificare l'autenticità e la correttezza della transazione. Dopo averne appurato la validità subentrano il processo di mining e quello di voto, volto a raggiungere il consenso ed aggiornare – conseguentemente – il libro mastro (Hassan, 2021).

1.3.4 Vantaggi e svantaggi della tecnologia blockchain

Dopo aver ripercorso il processo evolutivo che ha interessato la tecnologia blockchain ed esserci soffermati sul suo funzionamento – dal consenso distribuito al sistema di sicurezza – è fondamentale affrontare i vantaggi – già delineati implicitamente – e gli svantaggi propri di tale

^[19] La crittografia a chiave pubblica (o asimmetrica) viene utilizzata nella blockchain per garantire la sicurezza e l'autenticità delle transazioni. Questo sistema utilizza due chiavi: una pubblica e una privata. La chiave pubblica è condivisa con gli altri partecipanti della rete e può essere utilizzata per cifrare i dati che devono essere inviati al proprietario della chiave privata. La chiave privata, invece, è mantenuta segreta dal proprietario e viene utilizzata per decifrare i dati cifrati dalla chiave pubblica.

Quando un utente invia una transazione alla blockchain, la transazione viene firmata con la chiave privata dell'utente. Questa firma digitale viene quindi verificata dalla rete utilizzando la chiave pubblica associata all'indirizzo del mittente. Se la firma è valida, la transazione viene accettata dalla rete e registrata nella blockchain.

Inoltre, le chiavi pubbliche e private vengono utilizzate anche per la creazione degli indirizzi delle criptovalute. Ad esempio, in Bitcoin, un indirizzo è costituito da una stringa di numeri e lettere generate a partire dalla chiave pubblica. Una volta che un'unità di criptovaluta viene inviata a quell'indirizzo, può essere sbloccata solo con la chiave privata corrispondente.

In generale, l'uso della crittografia a chiave pubblica rende le transazioni sicure e garantite da una forte crittografia. Ciò significa che le transazioni possono essere autenticate e confermate senza la necessità di un'autorità centrale.

^[20] La firma e la verifica conferiscono alla blockchain le caratteristiche fondamentali di integrità, autenticità e non ripudio (Belotti et al, 2019).

intelligenza artificiale. È necessario sottolineare che, tale meccanismo è in continua evoluzione e, nonostante Bitcoin rappresenti la prima criptovaluta posta in essere, numerose altre piattaforme si sono evolute e susseguite nel corso degli anni, nel tentativo di migliorare le debolezze insite nella versione originale. È stato evidenziato come uno dei principali vantaggi della tecnologia blockchain sia da ritrovare nella sua capacità di creare registri immutabili e sicuri che perseguono lo scopo di verificare transazioni o attività senza la necessità di un intermediario. Si rinnovano, dunque, tra i vantaggi – e quindi gli aspetti che motivano l'utilizzo della blockchain in alcuni settori – i seguenti elementi (Rodeck e Curry, 2022):

- **Sicurezza** ^[21]: le transazioni registrate all'interno della blockchain risultano protette da crittografia avanzata e, successivamente, verificate dalla rete. Ciò rende qualsiasi attività svolta altamente sicura e praticamente impossibile da manipolare;
- **Trasparenza**: tra le principali peculiarità della blockchain si ricorda il suo essere 'pubblica', garantendo inevitabilmente una maggiore trasparenza;
- **Decentralizzazione**: la mancanza di un'autorità centrale che riunisca nella sua figura il potere di decidere e quindi il controllo dell'architettura sottostante, consente di non avere un singolo punto di vulnerabilità. L'idea che più utenti rappresentino un elemento fondamentale all'interno del meccanismo rende la struttura più resistente ad eventuali attacchi di hacker e violazioni della sicurezza;
- **Riduzione dei costi**: eliminando la necessità di intermediari, si riducono i costi sostenuti da parte di coloro che implementano le funzionalità blockchain;
- **Efficienza**: l'automatizzazione del processo di verifica e registrazione delle transazioni – nonostante la difficoltà di risoluzione che comporta attualmente – può aumentare l'efficienza e ridurre i costi di transazione. Le blockchain operano 24 ore su 24, 7 giorni su 7, risultando maggiormente efficienti, soprattutto avuto riguardo i trasferimenti a livello internazionale, in quanto non è necessaria la conferma manuale da parte di banche o istituzione di riferimento;
- **Velocità**: avuto riguardo alcune tipologie di piattaforme, le transazioni possono essere processate più velocemente rispetto ai tradizionali sistemi;

²¹ Per un maggiore approfondimento v. paragrafo 1.3.1 'Il sistema di sicurezza'

- **Precisione** (Rodeck e Curry, 2022): dovendo essere verificata da più nodi, una transazione processata da tale tecnologia viene ritenuta più precisa, intesa come la capacità di ridurre al minimo la possibilità di errore.

Ciononostante, è chiaro che tale tecnologia non abbia già raggiunto la propria perfezione, né tanto meno terminato il proprio processo di innovazione. Ad oggi, infatti, si registrano ancora una serie di svantaggi che risulta necessario tenere in considerazione qualora si volesse optare per l'applicazione della blockchain in determinati settori (Tapscott, 2016):

- **Scalabilità:** la blockchain è stata progettata – in origine – per soddisfare i requisiti di sicurezza e resistenza, motivo per il quale perché le transazioni siano verificate ed approvate – come riportato nel paragrafo relativo al funzionamento della blockchain – viene richiesto il dispendio di un'elevata quantità di tempo e risorse energetiche, limitando – in tal senso – la sua possibilità di implementazione in molti ambiti. Ad esempio, Bitcoin può elaborare solo 4,6 transazioni al secondo contro le 1.700 al secondo di Visa (Rodeck e Curry, 2022);
- **Immutabilità:** la natura immutabile della blockchain ne è, allo stesso tempo, una peculiarità fondamentale ma anche un limite importante. Difatti, le transazioni non possono essere in alcun modo cancellate o modificate, potendo causare una serie di problematiche in caso di errori o transazioni fraudolente;
- **Regolamentazione:** la sua natura decentralizzata rende difficile per i governi e le istituzioni regolamentarne l'utilizzo, ponendo in essere una serie di problematiche legali;
- **Ambiente:** l'elaborazione di transazioni sulla blockchain richiede una grande quantità di energia elettrica, poiché avere tutti i nodi che lavorano per verificare le transazioni richiede molta più elettricità di un singolo database o foglio di calcolo. Ciò comporta un negativo impatto ambientale, presupponendo che la blockchain si muova in senso contrario all'odierna corrente sempre più orientata alla salvaguardia del pianeta ed alla responsabilità sociale;
- **Anonimato:** sebbene tale tecnologia garantisca una maggiore privacy rispetto ad altri sistemi di pagamento, può anche essere utilizzata per attività illegali, proprio perché le

transazioni non sono direttamente collegabili ad una specifica identità appartenente al titolare dell'account;

- **Costi:** nonostante la sua implementazione – come sopra riportato – garantisca una riduzione dei costi di transazione, il suo utilizzo richiede un alto livello di risorse informatiche, e quindi ambientali, comportando costi elevati per la creazione e l'elaborazione della tecnologia;
- **Rischio di perdita patrimoniale:** poiché le risorse digitali risultano protette da chiavi crittografiche, perdere queste ultime significa smarrire definitivamente qualsiasi possibilità di accesso al proprio patrimonio. Ad oggi, non c'è modo di recuperare le 'credenziali di accesso' proprio perché l'assenza di un'autorità centrale ne impedisce la possibilità.

Con l'obiettivo di sanare alcune di queste limitazioni, si è perseguito l'obiettivo – negli anni a venire – di dar vita a nuove tipologie di blockchain, così come nuove tipologie di piattaforme.

1.4 TIPOLOGIE DI BLOCKCHAIN: PERMISSIONLESS VS PERMISSIONED

La tecnologia blockchain nasce – nel 2008 – con l'obiettivo di rappresentare una vera e propria spina dorsale del sistema di pagamento digitale Bitcoin ed incarnare le peculiarità di decentralizzazione – in assenza di una figura *super partes* – e di sistema basato sulla fiducia e sul consenso diffuso, laddove nessuno dei nodi avrebbe potuto detenere una sorta di supremazia rispetto agli altri. Ciononostante, l'evoluzione di tale tecnologia ha portato ad un ampliamento del ventaglio di tipologie di blockchain esistenti. Tra queste, si evidenziano quelle più diffuse attualmente: le blockchain *permissionless* – di cui abbiamo trattato precedentemente, definite anche blockchain pubbliche – e le blockchain *permissioned*, definite anche private. La principale differenza tra le due – al di là del fatto che ne esistano anche altre, di cui si tratterà in seguito – risiede nella diversa natura del controllo d'accesso e della partecipazione alla rete (Belotti et al, 2019). In virtù di tale distinzione, le prime risultano essere maggiormente adatte circa applicazioni pubbliche e decentralizzate, mentre le seconde – *permissioned* – risulterebbero più adatte ad implementazioni di natura aziendale.

La blockchain permissionless permette a qualsiasi utente di partecipare alla rete senza che risulti necessaria una specifica autorizzazione, rendendola – infatti – più adatta ad applicazioni nel settore pubblico, in cui trasparenza e democratizzazione risultano fondamentali. Ciò fa sì che non esista un'autorità centrale competente a governare l'intera rete, motivo per il quale le transazioni vengono verificate – come già esaurientemente riportato – dai nodi della rete in modo distribuito ed autonomo.

Nel caso della blockchain permissioned, queste ultime hanno iniziato ad emergere dopo l'avvento delle blockchain permissionless, come Bitcoin. Mentre le blockchain permissionless sono state create per supportare le criptovalute decentralizzate, le blockchain permissioned sono state sviluppate per rispondere alle esigenze di aziende e organizzazioni governative che desideravano utilizzare la tecnologia blockchain per gestire le loro attività in modo sicuro e privato. In particolare, le prime implementazioni di blockchain permissioned sono state sviluppate intorno al 2015 da aziende come Ripple, Corda e Hyperledger, le quali hanno cercato di creare soluzioni blockchain per le istituzioni finanziarie e altre organizzazioni che richiedono un alto livello di privacy e controllo. Negli anni successivi, molte altre aziende e organizzazioni hanno sviluppato le proprie soluzioni blockchain permissioned, creando un'ampia varietà di implementazioni: dalla finanza alle assicurazioni, passando per sanità e governo con lo scopo di gestire asset, transazioni e registri in modo sicuro e privato. Difatti, la peculiarità delle blockchain permissioned si sostanzia nel fatto che l'accesso alla rete sia limitato solo alle parti autorizzate, ovvero coloro che hanno ottenuto una specifica autorizzazione dai nodi della rete. È proprio tale caratteristica che rende la blockchain permissioned maggiormente adatta ad implementazioni aziendali, in quanto – nonostante venga meno il presupposto di totale decentralizzazione e di consenso distribuito – la privacy e la sicurezza assumono un significato particolare. In un blockchain di questo tipo, quindi, esiste un'autorità centrale o un gruppo di nodi selezionato ad hoc con il potere di governare la rete e di verificarne le transazioni (Solat et al, 2021).

Di seguito vengono esaminate alcune delle principali differenze che intercorrono tra le due tipologie di blockchain, giustificandone anche le diverse modalità di utilizzo:

- **Scalabilità:** le blockchain permissioned si contraddistinguono per una maggiore capacità di elaborazione rispetto alle blockchain permissionless, poiché il controllo centralizzato consente di ridurre i tempi di verifica e di validazione delle transazioni. D'altra parte, ciò implica – al contempo – una maggiore dipendenza del sistema da una singola autorità centrale e, quindi, una maggiore vulnerabilità agli attacchi informatici;
- **Governance:** le blockchain permissioned sono solitamente gestite da un'autorità centrale o da un gruppo selezionato di nodi che governa la rete e decide le regole del gioco. Le blockchain permissionless, d'altra parte, sono governate dalla comunità degli utenti che partecipano alla rete e che devono raggiungere un consenso decentralizzato per prendere decisioni importanti;
- **Privacy:** le blockchain permissioned sono in grado di garantire una maggiore privacy, poiché solo gli utenti autorizzati sono in grado di accedere alla rete ed alle informazioni registrate. D'altra parte, le blockchain permissionless – essendo pubbliche – sono meno in grado di garantire la privacy degli utenti;
- **Livello di decentralizzazione:** ovviamente, per definizione le blockchain permissioned sono considerate meno decentralizzate rispetto alle blockchain permissionless, poiché un'autorità centrale o un gruppo selezionato di nodi ha il controllo sulla rete. Al contrario, le blockchain permissionless sono completamente decentralizzate e non hanno un punto di controllo centrale.
- **Immutabilità:** la tipologia permissionless è considerata maggiormente immutabile rispetto a quella permissioned, in quanto il processo di verifica e validazione delle transazioni risulta più distribuito ed autonomo. Per quanto concerne la blockchain permissioned, l'autorità centrale o il gruppo selezionato di nodi potrebbe facilmente alterare il registro, qualora lo desiderasse;
- **Costi:** le blockchain permissioned richiedono costi operativi e di manutenzione maggiori rispetto alla versione permissionless, poiché si ritiene necessaria l'implementazione di una struttura di governance centrale ed – al contempo – di un sistema di autorizzazione. D'altra parte, però, le blockchain permissionless richiedono un'ampia partecipazione della comunità e potrebbero richiedere maggiori costi per la validazione delle transazioni;

- **Velocità di conferma:** le permissioned sono generalmente in grado di confermare le transazioni più rapidamente rispetto alle permissionless, in virtù del fatto che l'autorità centrale o il gruppo selezionato di nodi detiene il controllo sulla conferma delle transazioni; mentre le blockchain permissionless, essendo più distribuite, richiedono un tempo maggiore per la conferma delle transazioni.

Seguono ulteriori aspetti che differenziano le due tipologie di blockchain, si considerano (Helliard, 2020):

- **Proof of Work vs Proof of Stake** ^[22]: le blockchain permissioned possono utilizzare diversi algoritmi di consenso per validare le transazioni. Tuttavia, le blockchain permissionless sono spesso basate su algoritmi di consenso come Proof of Work o Proof of Stake, che richiedono la partecipazione dei nodi della rete per validare le transazioni e raggiungere un consenso distribuito avuto riguardo la corretta versione della catena di blocchi;
- **Accessibilità:** le blockchain permissioned sono solitamente utilizzate in contesti privati, come le aziende o le organizzazioni governative, e richiedono l'autorizzazione per accedere alla rete. Al contrario, le blockchain permissionless sono pubbliche e aperte a tutti, e non richiedono alcuna autorizzazione per accedere alla rete;
- **Scopo:** le blockchain permissioned sono – di norma – utilizzate per applicazioni specifiche, quali il tracciamento della catena di approvvigionamento o la gestione dei dati sanitari; le blockchain permissionless sono, invece, utilizzate per applicazioni più

^[22] Come precedentemente approfondito, la sicurezza della blockchain è garantita dalla verifica delle transazioni tramite l'uso di algoritmi di consenso, come la Proof of Work (PoW) e – conseguentemente – la Proof of Stake (PoS). Da un lato, la Proof of Work è stato il primo algoritmo di consenso utilizzato nella blockchain, ed è alla base del processo di mining, richiedendo una grande quantità di potenza di calcolo ed energia elettrica, e rendendo tale processo costoso, lento e spesso non conveniente rispetto ai tradizionali sistemi. Ciononostante, la difficoltà del problema matematico rende anche più complesso attaccare la blockchain, garantendo una maggiore sicurezza. D'altra parte, la Proof of Stake – anch'essa espressione di una forma di algoritmo di consenso – utilizza un meccanismo basato sul possesso di monete virtuali, cioè la stake, con la finalità di validare le transazioni e creare nuovi blocchi nella blockchain. In questo caso, i validatori devono mettere in gioco una quantità di stake per partecipare al processo di consenso. Tale meccanismo rende il processo di consenso più veloce ed efficiente rispetto al PoW, ma anche meno sicuro, poiché qualora un hacker acquisisse la maggioranza delle monete in circolazione, potrebbe compromettere la sicurezza della catena (King e Nadal, 2012).

generiche, come il trasferimento di denaro (criptovalute) o la registrazione di attività su una rete decentralizzata;

- **Flessibilità:** le blockchain permissioned possono risultare più flessibili rispetto alle permissionless in termini di funzionalità ed implementazione, e questo perché il controllo centrale consente di apportare modifiche più facilmente. Al contrario, le blockchain permissionless sono generalmente più resistenti ai cambiamenti ed alla censura, in quanto non dipendono da una singola autorità centrale, ma perché si concretizzi una modifica è necessario il raggiungimento del consenso distribuito.

In sintesi, le blockchain permissioned e quelle permissionless presentano significative differenze in termini di scalabilità, governance, privacy, livello di decentralizzazione, immutabilità, costi, velocità di conferma, PoW e PoS, accessibilità, scopo e, da ultimo, flessibilità. La specifica scelta tra le due dipende dallo specifico caso d'uso e dalla natura del progetto.

Le tipologie di blockchain ad oggi conosciute non si limitano – come già anticipato – a quelle sopra riportate (Figura 5). Difatti, si dimostra possibile porre in evidenza una serie di varianti, ciascuna delle quali connotata da caratteristiche bene differenti (Andreev, 2018):

- **Hybrid Blockchain:** questa tipologia di blockchain combina le peculiarità della tipologia permissioned e permissionless. Una parte della blockchain può essere accessibile a tutti, mentre l'altra parte può essere limitata solo ad alcuni utenti autorizzati, offrendo tanto una buona dose di decentralizzazione quanto di controllo centrale;
- **Consortium Blockchain:** simile alla blockchain permissioned, la consortium blockchain è governata da un consorzio di organizzazioni o aziende selezionate che collaborano per gestire la blockchain. Da un lato, tale blockchain è per natura permissioned, ma può – inevitabilmente – risultare maggiormente decentralizzata rispetto alla blockchain permissioned, in quanto coinvolge più organizzazioni nella governance e quindi un numero maggiore di nodi autorizzati;

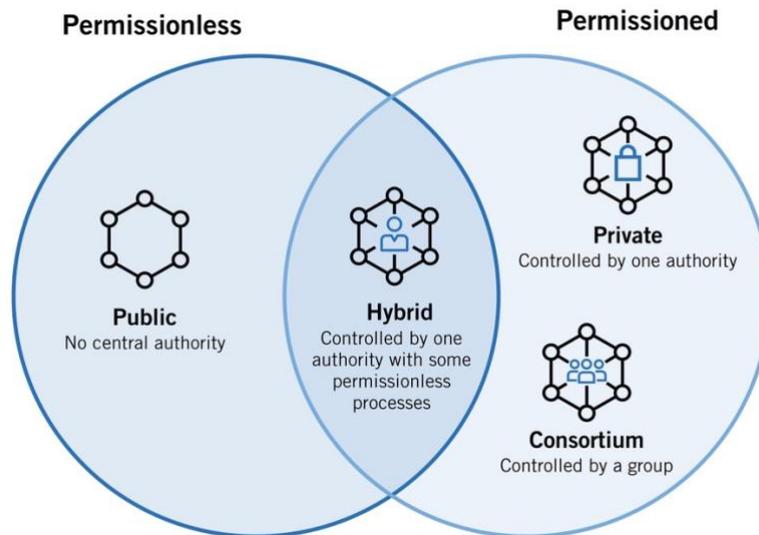


Figura 5. Tra blockchain permissionless e permissioned
(Foley & Lardner, 2021)

- **Sidechain:** una sidechain è una blockchain a sé stante, ma connessa ad una blockchain principale. Le due – la sidechain e la blockchain principale – possono comunicare tra loro e scambiarsi dati, così come operare separatamente, non influenzandosi l’una rispetto all’altra;
- **Blockchain orientata ai dati:** la blockchain orientata ai dati è stata progettata per sanare uno dei limiti più evidenti della tecnologia blockchain: la scalabilità. Difatti, tale tipologia di blockchain consente di gestire grandi quantità di dati, motivo per il quale la sua implementazione risulta ottimale nel settore sanitario, finanziario e logistico;
- **Blockchain ibride pubblico/privato:** questo tipo di blockchain – da non confondere con la Hybrid Blockchain – persegue l’obiettivo di combinare i vantaggi delle permissioned e quelli della permissionless. Tale blockchain risulta aperta a tutti (quindi, permissionless), ma solo gli utenti autorizzati (quindi, permissioned) hanno accesso ai contenuti sensibili.

Queste sono solo alcune delle tipologie di blockchain disponibili. Esistono molte altre varianti e combinazioni di blockchain che possono essere utilizzate per ulteriori applicazioni specifiche.

1.5 LE DIVERSE PIATTAFORME BLOCKCHAIN

Nel tentativo di sanare le principali carenze derivanti dall'implementazione della tecnologia blockchain, nel corso degli anni numerosi programmatori, e poi imprese, hanno dato vita a più piattaforme, ciascuna delle quali connotata da differenti peculiarità e limitazioni.

1.5.1 La piattaforma Bitcoin

Nel corso degli anni si sono sviluppate – l'una dietro l'altra – numerose piattaforme blockchain, ciascuna delle quali ha preso forma per scopi ed applicazioni differenti. Prima tra tutte, espressione della più conosciuta criptovaluta al mondo, è la piattaforma **Bitcoin** (Mancini, 2015). La piattaforma Bitcoin è stata introdotta nel 2009 come la prima criptovaluta decentralizzata al mondo: si tratta di una forma di denaro digitale che si serve della crittografia per garantire la sicurezza delle transazioni e la creazione di nuove unità monetarie. Bitcoin è gestito da una rete peer-to-peer (P2P) che consente agli utenti di scambiare denaro direttamente tra loro senza la necessità di un'istituzione finanziaria intermedia (Nakamoto, 2008). Il suo specifico funzionamento è stato già ampiamente discusso precedentemente, con la finalità di risaltare il meccanismo insito nella tecnologia blockchain. D'altra parte, è necessario tenere in considerazione che – in qualità di rete 'primitiva' – la piattaforma Bitcoin è stata pensata per fungere da sistema di pagamento pubblico senza determinazione centralizzata ed è stata progettata di conseguenza, rendendola inadatta per i sistemi privati autorizzati, come nel caso delle nascenti blockchain permissioned (Belotti et al, 2019). Nell'ultimo decennio Bitcoin ha attirato l'attenzione di investitori ed appassionati di tecnologia in tutto il mondo, comportando un apprezzamento considerevole del suo valore nel corso degli anni. Ciononostante, il suo valore è notoriamente volatile ed il suo utilizzo è, tutt'ora, relativamente limitato rispetto alle valute tradizionali (Antonopoulos, 2014). D'altra parte, è necessario tenere in considerazione che l'offerta di Bitcoin è limitata a 21 milioni di unità, con nuove unità che vengono create tramite il processo di "mining" (Luther, 2016).

1.5.2 La piattaforma Ethereum

A seguire, tra le piattaforme di maggiore successo ed utilizzo è dovere menzionare **Ethereum**. Si tratta di una piattaforma decentralizzata basata sulla tecnologia blockchain – la prima

piattaforma Turing complete – che consente agli utenti di creare e distribuire applicazioni decentralizzate, DApps (Dannen, 2016). Tale piattaforma è stata introdotta nel 2015 dal programmatore russo-canadese Vitalik Buterin e la sua principale peculiarità – che le consente di differenziarsi rispetto alle altre – è la capacità di supportare la creazione di ‘smart contract’ (Buterin, 2014). Questi ultimi risultano essere espressione di programmi informatici autonomi capaci di eseguire automaticamente gli accordi tra le parti, senza la necessità di intermediari, venendo eseguiti sulla piattaforma Ethereum nel medesimo modo in cui le transazioni vengono eseguite e registrate su blockchain, rendendo – quindi – la loro esecuzione immutabile e verificabile. Gli sviluppatori possono utilizzare il linguaggio di programmazione “Solidity” per scrivere gli smart contract su Ethereum, perseguendo l’obiettivo di distribuirli sulla blockchain Ethereum e far sì che vengano utilizzati da chiunque abbia accesso alla rete, qualora si tratti di una blockchain permissionless (Tikhomirov, 2018). D’altra parte, al pari della piattaforma Bitcoin, Ethereum si serve di una criptovaluta interna, la quale prende il nome di Ether (ETH), intesa come mezzo di pagamento elettronico per l’esecuzione di transazioni sulla blockchain e per il pagamento delle commissioni di elaborazione dei contratti intelligenti (Antonopoulos, 2018). Ciò ha consentito ad Ethereum di essere rapidamente adottata ed implementata in diversi settori: dalla finanza alla logistica, passando per l’energia ed healthcare, grazie alla sua capacità di creare applicazioni (DApps) ed utilizzare la funzionalità degli smart contract. Per quanto concerne una delle sue principali innovazioni, DApps (Decentralized Applications), si tratta di applicazioni decentralizzate che utilizzano la tecnologia blockchain per offrire funzionalità distribuite e sicure, senza la necessità di un’autorità centrale che le gestisca (Wood, 2014). Tali applicazioni si distinguono da quelle tradizionali per alcune caratteristiche chiave (Swan, 2015): la **decentralizzazione**, laddove tali DApps risultano essere eseguite su una rete distribuita di nodi, garantendo una maggiore sicurezza ed immunità al controllo esterno; **smart contract**, nel senso che tali applicazioni decentralizzate utilizzano spesso contratti intelligenti per automatizzare le transazioni e le operazioni all’interno della rete; **token** ^[23], in quanto le

^[23] I token nella tecnologia blockchain sono unità digitali di valore che rappresentano una determinata quantità di un’attività o risorsa, come ad esempio una criptovaluta, una proprietà immobiliare, un diritto di voto o una quota di partecipazione a un progetto. I token sono immagazzinati all’interno di wallet digitali, che possono essere gestiti da utenti individuali o da organizzazioni e possono essere utilizzati come forma di pagamento all’interno di una piattaforma o utilizzati per rappresentare un’attività di proprietà dell’utente. Uno dei vantaggi principali dei token è che possono essere utilizzati per creare incentivi all’interno di un

DApps usano spesso tali token per incentivare gli utenti a contribuire alla rete o per fornire un valore specifico all'interno della piattaforma. Per quanto concerne la sfera del consenso – elemento di fondamentale importanza nel funzionamento blockchain – trattandosi pur sempre di una tecnologia Distributed Ledger, per convalidare qualsiasi tipologia di transazione all'interno di Ethereum è necessario raggiungere il consenso tra nodi, laddove – attualmente – la piattaforma opta per l'algoritmo di consenso PoW (Frikha, 2021). Ciononostante, la prossima implementazione di Ethereum – Casper – introdurrà l'algoritmo PoS, laddove i partecipanti coinvolti nel processo di creazione del consenso risultano limitati – e non illimitati come nel caso della PoW – alle parti che detengono una partecipazione legittima alla blockchain: difatti, la PoS elimina il calcolo della funzione hash, sostituendolo con una semplice firma digitale che dimostra la proprietà della partecipazione. Ciò consentirà di ridurre la distribuzione di informazioni tra nodi, ponendo in essere una sorta di blockchain permissioned. Tale innovazione coinvolgerà ed influenzerà soprattutto il fattore 'scalabilità'. Ad oggi, infatti, Ethereum è una blockchain open-source e senza permessi che accoglie un numero di nodi illimitato, creando – inevitabilmente – una serie di problematiche legate alla scalabilità della rete. Per questo motivo, il passaggio all'algoritmo PoS consentirebbe di limitare la quantità di utenti coinvolti e, di conseguenza, aumenterebbe la scalabilità della piattaforma.

Dunque, tra le peculiarità che contraddistinguono la piattaforma Ethereum, rendendola una delle più famose ed affermate, si riscontrano (Bouichou, 2020):

- **Smart contract:** Ethereum è stato il primo progetto blockchain a introdurre il concetto di smart contract, ovvero programmi autonomi che eseguono transazioni automatiche sulla blockchain senza la necessità di intermediari. Questi contratti possono essere utilizzati per automatizzare una vasta gamma di processi, come i pagamenti, la tracciabilità della catena di approvvigionamento e le operazioni di voto. Trattandosi di un protocollo informatico, il loro scopo è quello di facilitare, verificare o applicare digitalmente la negoziazione o l'esecuzione (Wang et al, 2019) di un contratto tra due

ecosistema digitale. Ad esempio, un token potrebbe essere utilizzato come incentivo per incoraggiare gli utenti a partecipare alla comunità o per finanziare la crescita di un progetto (Oliveira et al, 2018).

o più entità di rete. I contratti intelligenti di Ethereum vengono eseguiti dalla macchina virtuale di Ethereum, la quale prende il nome di Ethereum Virtual Machine (EVM). Il codice di un contratto transazionale di Ethereum può attivare la lettura e la scrittura di dati, eseguire calcoli come l'utilizzo di primitive crittografiche, oppure effettuare chiamate (inviare messaggi) ad altri contratti ^[24].

- **Linguaggio di programmazione Solidity:** Solidity è un linguaggio di programmazione ad oggetti basato su Javascript specifico per Ethereum, il quale consente agli sviluppatori di scrivere smart contract complessi. Questo linguaggio di programmazione è stato sviluppato per garantire la sicurezza dei contratti, evitando bug e vulnerabilità che potrebbero essere sfruttati dagli hacker per compromettere la sicurezza della rete;
- **Scalabilità:** Ethereum ha implementato alcune soluzioni per migliorare la scalabilità della sua rete, tra cui la tecnologia Sharding, che suddivide la rete in parti più piccole e gestibili, e la Proof of Stake (PoS), volta a sostituire il meccanismo di consenso Proof of Work (PoW) e ridurre i costi energetici della blockchain;
- **Decentralizzazione:** Ethereum è una blockchain decentralizzata, il che significa che non esiste un'unica autorità centrale che controlla la rete, al pari di Bitcoin. Ciò garantisce la sicurezza e l'immunità al controllo esterno della rete;
- **Token standard:** per tramite della piattaforma è stato introdotto lo standard ERC-20, che consente agli sviluppatori di creare facilmente token su Ethereum. Ciò ha permesso la creazione di una vasta gamma di criptovalute e token;
- **EVM (Ethereum Virtual Machine):** la piattaforma è provvista di una macchina virtuale dedicata, l'EVM, la quale è responsabile circa l'esecuzione dei codici dei

^[24] La tecnologia degli smart contract può essere utilizzata in numerosi campi, dal settore bancario all'assicurativo, passando per quello legale e notarile. Il loro utilizzo consente di ridurre i tempi di esecuzione e i costi associati alla gestione dei contratti tradizionali. D'altra parte, sussistono anche alcuni rischi associati all'utilizzo degli smart contract: in primo luogo, la loro esecuzione dipende dalla corretta programmazione del codice, che può essere soggetto ad errori; in secondo luogo, la natura immutabile della blockchain può rendere difficile correggere eventuali errori o bug nel codice. Nonostante ciò, l'implementazione degli smart contract sta diventando sempre più comune in virtù della loro capacità di automatizzare processi, riducendo la necessità di intermediari e migliorando la trasparenza e la sicurezza delle transazioni.

Gli smart contract stanno, complessivamente, rivoluzionando il modo in cui le transazioni vengono gestite, introducendo un nuovo livello di efficienza, sicurezza e trasparenza, motivo per il quale le applicazioni di tale modello stanno aumentando costantemente (Ammous, 2016).

contratti sulla blockchain. L'EVM è stata progettata per essere "turing complete" ^[25], ovvero in grado di eseguire qualsiasi operazione di calcolo. Ciò significa che gli sviluppatori possono creare applicazioni più complesse sulla piattaforma Ethereum rispetto ad altre blockchain;

- **DAO (Decentralized Autonomous Organizations):** Ethereum ha introdotto il concetto di DAO, ovvero organizzazioni autonome decentralizzate che consentono ai membri di gestire i propri affari senza la necessità di intermediari;
- **Privacy:** sono state introdotte soluzioni per migliorare la privacy degli utenti di Ethereum, tra cui la tecnologia Zero Knowledge Proof e la piattaforma di privacy Aztec Protocol;
- **Interoperabilità:** Ethereum consente la comunicazione tra diverse blockchain e piattaforme, grazie a strumenti come la tecnologia Atomic Swap e la rete di interoperabilità Polkadot. Ciò significa che gli utenti non solo possono trasferire valore tra loro, ma possono anche scambiare valori tra diverse blockchain, senza la necessità di intermediari.

Tuttavia, l'uso di Ethereum non è privo di sfide, come la necessità di affrontare e trovare una soluzione ai problemi di scalabilità e sicurezza. Difatti, nonostante la piattaforma sia stata progettata per gestire un gran numero di transazioni, deve ancora superare le difficoltà legate alla congestione della rete durante i periodi di grande afflusso di traffico (Atzei et al, 2017). D'altra parte, è necessario tenere in considerazione che, per quanto gli smart contract rappresentino una rivoluzione, il fatto che i programmatori possano scrivere contratti autonomamente senza vincoli prestabiliti pone in essere problematiche legate alla sicurezza.

^[25] Il termine "Turing complete" è utilizzato per descrivere una macchina o un linguaggio di programmazione in grado di eseguire qualsiasi calcolo che può essere risolto da una macchina di Turing universale. In termini di blockchain, una piattaforma Turing complete è in grado di eseguire programmi completi al suo interno, in modo simile a come una macchina di Turing universale può eseguire qualsiasi programma. In generale, l'essere Turing completo è considerato un importante vantaggio per le piattaforme blockchain, in quanto offre una maggiore flessibilità e possibilità di sviluppo rispetto alle piattaforme che non lo sono (Jansen, 2020).

1.5.3 Una breve overview: le nuove piattaforme

In generale, Bitcoin ed Ethereum rappresentano due approcci differenti alla tecnologia blockchain, laddove Bitcoin risulta maggiormente incentrata sulla sua implementazione in termini di valuta digitale, mentre Ethereum si focalizza sulla creazione di applicazioni decentralizzate. Nonostante i diversi scopi perseguiti, entrambe le piattaforme hanno contribuito in modo significativo alla crescita e all'evoluzione della tecnologia blockchain e continuano ad essere le criptovalute più popolari al mondo. Esistono, però, numerose altre piattaforme capaci di sfruttare tale tipologia di intelligenza artificiale, alcune delle quali offrono funzionalità uniche e specializzate. Tra queste si menzionano (Kuo et al, 2019):

- **Ripple (XRP):** si tratta di una piattaforma blockchain che si concentra sul trasferimento di denaro e sulle transazioni transfrontaliere. Utilizza la sua criptovaluta, XRP, come mezzo di scambio e punta a ridurre i costi delle transazioni e aumentare la velocità dei trasferimenti;
- **Stellar (XLM):** è una piattaforma blockchain simile a Ripple, ma con un focus maggiormente incentrato sulla microfinanza e sui pagamenti transfrontalieri per i paesi in via di sviluppo;
- **Hyperledger:** una tipologia di piattaforma blockchain open source, sviluppata dall'azienda IBM, che offre un ambiente di sviluppo flessibile e modulare per le applicazioni aziendali;
- **Corda:** è una piattaforma progettata per le applicazioni finanziarie, in particolare per la gestione dei contratti finanziari. È stata sviluppata dall'azienda R3.
- **EOS:** si tratta di una piattaforma che persegue l'obiettivo di migliorare la scalabilità delle applicazioni decentralizzate e di ridurre i tempi di elaborazione delle transazioni;
- **TRON (TRX):** è una piattaforma blockchain che punta a creare una piattaforma decentralizzata per l'intrattenimento, offrendo un ecosistema per il contenuto digitale, giochi e applicazioni;
- **NEO:** piattaforma blockchain che, a differenza delle altre, si concentra sulla creazione di applicazioni decentralizzate e sulla gestione dei token digitali, puntando a fornire un ambiente di sviluppo facile da usare per gli sviluppatori.

1.6 SETTORI DI IMPLEMENTAZIONE DELLA BLOCKCHAIN

Introdotta come infrastruttura per la criptovaluta bitcoin, la tecnologia blockchain ha avuto un impatto trasformativo su una vasta gamma di settori. Difatti, proprio in virtù della sua capacità di creare registri immutabili, sicuri e decentralizzati, tale tecnologia offre numerose possibilità di applicazione che vanno ben oltre alle ‘semplici’ criptovalute. È fondamentale sottolineare che la tecnologia blockchain, inserita ed applicata all’interno di ciascun settore, presenta una serie di punti di forza e di debolezza che devono necessariamente essere tenuti in considerazione da parte delle aziende che vogliono optare per la sua implementazione.

1. Settore finanziario

Il settore finanziario è stato uno dei primi ad adottare la tecnologia blockchain, in quanto tale tecnologia consentirebbe alle istituzioni finanziarie di effettuare transazioni in modo più veloce ed efficiente, riducendo i costi e migliorando la sicurezza (Böhme, 2015). Le forme di tecnologia appartenenti alla famiglia delle Distributed Ledger Technology (DLT) – di cui la blockchain è parte – permettono di migliorare elementi quali trasparenza e sicurezza, potendo beneficiare concretamente di una serie di vantaggi (Cocco et al, 2017): a partire dalla sicurezza, in termini di condivisione dei dati sulla rete e riduzione del rischio di frodi, manipolazioni ed accessi non autorizzati ai dati finanziari; la riduzione dei costi e dei tempi delle transazioni, laddove la possibilità di eliminare gli intermediari – quali banche e società di compensazione – garantisce una riduzione dei costi sostenuti dalle imprese del settore; l’automazione dei processi per tramite dell’implementazione degli smart contract, i quali detengono la capacità di automatizzare molti processi finanziari (gestione delle scadenze dei prestiti ed esecuzione automatica di transazioni in base a determinati criteri); la maggiore trasparenza – offrendo una completa visibilità (nel caso delle blockchain permissionless) avuto riguardo le transazioni finanziarie eseguite – aumenta la fiducia degli utenti, migliorando complessivamente il funzionamento del sistema finanziario; da ultimo, si potrebbe implementare la blockchain nella gestione delle identità digitali, eliminando – di conseguenza – la necessità di processi di verifica e autenticazione separati per ogni transazione (Aggarwal e Kumar, 2021). Ciononostante, l’adozione della blockchain in un settore come quello finanziario presenta anche alcune sfide,

quali la necessità di gestire grandi quantità di dati, la scalabilità e l'integrazione con i sistemi attualmente esistenti.

2. Settore healthcare

La tecnologia blockchain potrebbe esprimere il proprio potenziale anche all'interno del settore medico-ospedaliero, creando registri sicuri e decentralizzati, atti a migliorare la condivisione di informazioni tra i fornitori di servizi sanitari (McGhin et al, 2019). Tale tecnologia potrebbe essere implementata per creare una piattaforma di gestione dei dati sanitari sicura, decentralizzata e condivisibile, laddove i dati dei pazienti possono essere facilmente registrarsi all'interno della catena di blocchi creando un registro digitale unificato accessibile ai soli medici autorizzati (blockchain permissioned). D'altra parte, la blockchain potrebbe anche essere implementata per garantire la sicurezza e la tracciabilità dei farmaci, riducendo – dunque – rischi di frodi, contraffazioni di farmaci ma anche spreco di risorse (Kuo et al, 2017). Si potrebbe pensare – anche in questo settore – di utilizzare la blockchain per la gestione di un'identità digitale, all'interno della quale vengono contenute informazioni riguardanti le condizioni di salute dei pazienti, le terapie in corso e le istruzioni per la cura domiciliare. Segue la possibilità di creare una piattaforma di condivisione dei dati di ricerca medica tra i ricercatori, i medici ed i pazienti, con la finalità di aggiornare costantemente le figure interessate in termini di ricerca scientifica (Ichikawa et al, 2017). Da ultimo, la tecnologia blockchain potrebbe – ovviamente – agevolare i pagamenti sanitari, dando vita ad un sistema di pagamento sicuro e trasparente, aiutando a ridurre i costi e migliorare l'accessibilità ai servizi sanitari. Tuttavia, l'adozione della blockchain nel settore healthcare presenta ancora alcune sfide, come la protezione dei dati sensibili dei pazienti, la conformità normativa e l'interoperabilità con i sistemi esistenti.

3. Settore dell'energia

La tecnologia blockchain può aiutare il settore dell'energia a gestire in maniera più efficiente la produzione, la distribuzione ed il consumo di energia. Tra le implementazioni ed innovazioni si evidenziano: a partire dalla gestione della rete elettrica, laddove la sua implementazione potrebbe comportare la creazione di una piattaforma di gestione della rete elettrica più sicura,

efficiente ed affidabile, migliorando così la gestione della produzione e distribuzione dell'energia, migliorando – contemporaneamente – la qualità dell'energia fornita ai consumatori (Andoni et al, 2019); i mercati energetici decentralizzati possono essere creati per consentire a produttori e consumatori di commerciare direttamente tra loro, riducendo in questo modo i costi di transazione sopportati dai consumatori; un'innovazione di fondamentale importanza sarebbe rappresentata dalla tracciabilità dell'energia rinnovabile, attraverso la creazione di un registro sicuro e trasparente che raccolga le informazioni riguardanti l'energia prodotta da fonti rinnovabili ed, in questo modo, agevolando la fiducia dei consumatori e garantendo una maggiore trasparenza nei confronti delle autorità regolatorie (Bürer et al, 2019). Da ultimo, ma espressione di una grande rivoluzione, si sostanzia l'implementazione della blockchain con la finalità di monitorare le emissioni di carbonio (Shakhbulatov et al, 2019): creando un registro sicuro e trasparente che tenga traccia delle emissioni di carbonio prodotte dalle industrie e dalle aziende, si dimostrerebbe più semplice garantire il rispetto delle normative ambientali, promuovendo la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio. Al di là delle fondamentali innovazioni che apporterebbe, è necessario tenere in considerazione che l'adozione della blockchain nel settore dell'energia presenta alcune limitazioni, come la necessità di gestire grandi quantità di dati e l'integrazione con i sistemi esistenti.

4. Settore dei trasporti

L'idea di tracciare in maniera immutabile le transazioni di trasporto, migliorando la tracciabilità e la sicurezza delle merci e dei passeggeri, rappresenta una delle conseguenze dell'implementazione della blockchain all'interno del settore dei trasporti (Astarita et al, 2019). La tracciabilità delle merci consentirebbe a tutti gli utenti di seguire il percorso delle merci dal punto di partenza fino alla destinazione finale, sanando le perdite e le inefficienze che vive attualmente la catena di fornitura. Un'ulteriore vantaggio derivante dall'applicazione della blockchain è da ritrovarsi nella creazione di sistemi di pagamento automatizzati tra i partecipanti della catena di fornitura, servendosi delle peculiarità proprie degli smart contract. Anche la possibilità di creare un registro riportante le informazioni sui veicoli – dati dei proprietari, storia dei veicoli ed autorizzazioni alla guida – consentirebbe di prevenire frodi,

falsificazioni ed attività illegali (Sušnik e Sinkovič, 2018). Da ultimo, anche la gestione del traffico potrebbe essere positivamente influenzata dalla tecnologia blockchain, consentendo una migliore gestione del flusso di veicoli ed una riduzione delle emissioni di carbonio (Batta et al, 2021). D'altra parte, la necessità di gestire grandi quantità di dati e la collaborazione tra le diverse parti interessate potrebbe rappresentare un sostanziale limite all'utilizzo concreto della blockchain in tale settore.

5. Settore immobiliare

Avuto riguardo il settore immobiliare, l'implementazione della blockchain può offrire numerosi vantaggi, tra i quali una maggiore trasparenza, sicurezza ed efficienza nelle transazioni immobiliari. La creazione di registri immobiliari basati su tale tecnologia rappresenta uno degli spunti di applicazione, atto a prevenire frodi e garantire l'autenticità e la verificabilità delle suddette transazioni. La creazione di smart contracts immobiliari – possono automatizzare e rendere maggiormente efficienti le transazioni immobiliari, eliminando la necessità di intermediari e quindi riducendo i costi di transazione – rappresenta un'altra valida opzione (Garcia-Teruel, 2020). Si potrebbe, però, pensare all'implementazione della tecnologia con la finalità di gestire i contratti di locazione o finanziare gli immobili (Wouda, H. P., & Opdenakker, 2019): nel primo caso, si tratta della creazione di un registro sicuro ed immutabile contenente i contratti di locazione e, quindi, volto a facilitare la gestione degli accordi tra proprietari ed inquilini; nel secondo caso, la blockchain può essere utilizzata per creare piattaforme di finanziamento immobiliare decentralizzate, consentendo agli investitori di finanziare progetti immobiliari direttamente ed in modo trasparente. Tra i limiti si annoverano la necessità di standardizzare i registri immobiliari e l'integrazione di tale blockchain rispetto ai sistemi già esistenti.

6. Settore della cultura e dell'intrattenimento

La blockchain può essere implementata per creare registri immutabili delle opere d'arte (NFT), dei diritti d'autore, ma anche dei biglietti per eventi, con l'obiettivo di migliorare la sicurezza e la tracciabilità delle transazioni dei beni culturali. Tra i vantaggi, si riportano (Dutra et al, 2018): la gestione dei diritti d'autore, laddove la blockchain potrebbe creare registri pubblici

sicuri dei diritti d'autore, consentendo agli artisti di gestire meglio la proprietà intellettuale e di proteggere i loro diritti d'autore. Ma anche, la gestione di beni culturali, consentendo di tracciare la provenienza e la storia di tali beni, prevenendone il traffico illecito. Da ultimo, il ticketing, espressione della possibilità di dar vita ad un sistema di ticketing decentralizzato che non richieda la presenza di intermediari e consenta agli artisti di interfacciarsi direttamente con gli spettatori, riduce i costi di transazioni e quindi l'onere sostenuto dagli spettatori. Allo stesso tempo, tale tecnologia potrebbe garantire l'autenticità e la validità dei biglietti venduti. Tra i limiti rispetto ai quali è necessario interfacciarsi, si menzionano la grande quantità di dati da gestire e la necessità di garantire la conformità della tecnologia blockchain e del suo utilizzo rispetto alle normative vigenti avuto riguardo il diritto d'autore.

7. Settore dell'istruzione

Avuto riguardo il settore accademico, la tecnologia in oggetto potrebbe rappresentare un'enorme fonte di innovazione, offrendo una maggiore sicurezza e tracciabilità dei documenti accademici, così come una migliore gestione delle informazioni degli studenti (Skiba, 2017). Implementare concretamente la blockchain significa efficientare la gestione dei documenti accademici attraverso la creazione di un registro pubblico contenente tutti le informazioni concernenti tali documenti, con la finalità da un lato, di sottoporre agli studenti un'overview completa della ricerca accademica e dall'altro, prevenire la falsificazione di suddetti articoli (Fedorova, E. P., & Skobleva, 2020). Anche il tema delle certificazioni e dell'attestazione verrebbe toccato, consentendo alle aziende – in sede di valutazione – di verificare le competenze e le qualifiche degli individui, efficientando il processo di screening e scongiurando il verificarsi di possibili asimmetrie informative. Si dimostra possibile – al contempo – la creazione di un'identità digitale e la gestione delle informazioni riguardanti gli studenti.

8. Settore dell'agricoltura

Un ulteriore settore di implementazione – che ad oggi sta riscuotendo estremo successo – è sicuramente quello agricolo. La creazione di registri immutabili avuto riguardo la filiera agroalimentare – oltre a migliorare la tracciabilità e la sicurezza dei prodotti alimentari –

consentirebbe di rendere pubbliche certificazioni ed attestazioni, ritenuti elementi di fondamentale importanza nell'ambito agricolo alla luce della responsabilità dei produttori di provare la conformità dei loro prodotti rispetto alle normative ed agli standard di qualità (Demestichas et al, 2020). Lato consumatore, la possibilità di tracciare l'origine ed il percorso dei prodotti – dalla semina alla distribuzione – conferirebbe al settore una maggiore trasparenza. Seguono la gestione dei pagamenti e la gestione della proprietà terriera. Quest'ultimo caso si dimostra particolarmente interessante, laddove grazie all'implementazione della blockchain sarebbe possibile creare un registro pubblico all'interno del quale ciascun utente è consapevole dello stato della proprietà terriera agricola in un dato momento (Sylvester, 2019). Da ultimo, tra le maggiori innovazioni risalta il monitoraggio della qualità dell'aria e del suolo, implementazione che consentirebbe agli agricoltori di adottare le misure necessarie per proteggere l'ambiente (Ge, 2017). Tuttavia, ci sono anche alcune sfide legate alla standardizzazione dei dati e alla collaborazione tra i vari attori della filiera agroalimentare.

L'IMPLEMENTAZIONE DELLA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN AL SISTEMA DELLA SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

La gestione della supply chain – di seguito supply chain management – è espressione di un processo ritenuto critico per molte aziende. Nel corso di tale capitolo si dimostrerà possibile indagare le principali peculiarità e criticità della catena di approvvigionamento, comprendendo le diverse variabili che devono essere necessariamente tenute in considerazione perché si raggiunga un'ottimale soddisfazione del cliente. D'altra parte, la blockchain offre un potenziale per migliorare la trasparenza e l'efficienza di tale gestione: a partire dall'instaurazione di un maggior grado di fiducia tra i diversi membri della supply chain e la condivisione delle informazioni lungo l'interna catena di approvvigionamento, consentendo una tempestiva gestione di eventuali rischi. Difatti, la tecnologia blockchain – come è stato precedentemente indagato – può garantire la tracciabilità delle informazioni, la sicurezza dei dati e la riduzione dei tempi di transazione, consentendo un controllo maggiore sulla gestione delle forniture e sulle operazioni di produzione (Kshetri, 2018). Le principali caratteristiche della tecnologia blockchain si sposano, quindi, quasi perfettamente con alcune delle criticità proprie della supply chain, motivo per il quale alcune realtà hanno già sperimentato la possibilità di implementare concretamente suddetta tecnologia non solo all'interno del settore finanziario – utilizzando piattaforme del tipo Bitcoin, Ethereum etc – ma anche di utilizzarla nell'ambito del business, della produzione e della logistica. È, però, importante evidenziare come l'implementazione della blockchain lungo la catena di approvvigionamento sia ancora un'area di ricerca attiva e che molte sfide e questioni rimangano ancora da affrontare: tra queste, la scalabilità della tecnologia blockchain, la gestione della privacy dei dati e l'integrazione con i sistemi esistenti, sono solo alcune delle principali questioni da considerare.

2.1 SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: UNA COMPLESSA DEFINIZIONE

La supply chain management – in lingua italiana gestione della catena di approvvigionamento – è espressione dell’insieme di attività – interconnesse ed interdipendenti – che coinvolgono la gestione dei flussi di risorse, informazioni, denaro e servizi avuto specifico riguardo un’azienda e le diverse organizzazioni che prendono parte al processo di produzione e, successiva, distribuzione dei beni e dei servizi sul mercato (Cooper et al, 1997). Tale catena di approvvigionamento esplicherebbe, nella sua complessità ed articolazione, il sistema di interazione che sussiste tra i diversi tipi di stakeholders che governano la supply chain: produttori, che producono o coltivano le materie prime per i beni; fornitori, che acquistano e vendono materiali; produttori, che trasformano i materiali in beni; trasportatori o fornitori di logistica, che spostano questi beni in tutto il mondo; responsabili della supply chain, che garantiscono il buon funzionamento delle operazioni in tutto, dalla pianificazione all’approvvigionamento di materie prime, alla produzione, alla consegna e ai resi; rivenditori, che vendono beni online o nei negozi fisici; consumatori, che acquistano e utilizzano questi beni e servizi (McKinsey, 2022). In qualche modo, si potrebbe assumere che la supply chain incarni in sé un complesso funzionamento, connotato da numerosi attori e partecipanti, il quale permette di trasformare le materie prime in prodotti finiti, rendendoli idonei all’utilizzo da parte del consumatore finale (Standler, 2015). Tale sistema racchiude al proprio interno alcune attività ritenute di fondamentale importanza, quali il *sourcing* (approvvigionamento), la produzione, la logistica, la gestione degli inventari, ma anche il trasporto, lo stoccaggio e la distribuzione, dovendo – necessariamente – tenere in considerazione le interazioni e relazioni che intercorrono tra i diversi soggetti coinvolti lungo l’intera catena. La supply chain management coinvolge, in sintesi, il flusso totale di materiali, dall’acquisizione delle materie prime alla consegna dei prodotti finiti agli utenti finali, nonché i relativi contro flussi di informazioni che controllano e registrano il movimento dei materiali (Mentzer et al, 2001).

Nel corso degli ultimi decenni l’ambito della supply chain management ha incrementato la propria importanza ed il proprio valore, tanto lato aziende quanto lato consumatore, soprattutto in virtù della crescente globalizzazione economica e della necessità – insita nella natura aziendale – di ridurre i costi sostenuti, migliorando al contempo l’efficienza dei processi

produttivi che si susseguono lungo l'intera catena tecnologico-produttiva (Chopra e Meindl, 2001). Con gli anni, l'evidenza ha dimostrato come una corretta gestione, circa il funzionamento della catena di approvvigionamento, consenta di ottimizzare alcuni aspetti ritenuti fondamentali per la resilienza di un'impresa: dall'efficientamento della produttività della catena di approvvigionamento, alla riduzione degli sprechi e dei tempi di produzione e di consegna, passando per la capacità di migliorare la qualità del prodotto o del servizio in oggetto, incrementando – contemporaneamente – la soddisfazione dei consumatori, considerati una variabile sempre più esigente. I fattori che giustificerebbero la popolarità del concetto – a partire dagli anni '90 del secolo scorso – vanno ricondotti alle tendenze dell'approvvigionamento globale, all'enfasi sulla concorrenza basata sul tempo e sulla qualità dei prodotti e servizi offerti e, da ultimo, ad una maggiore incertezza ambientale. Proprio per far fronte a tali priorità, le aziende si sono rivolte sempre più a fonti globali per le loro forniture (riduzione dei costi legati alla manodopera attraverso l'insediamento degli impianti produttivi in paesi in via di sviluppo etc), costringendo – suddetta globalizzazione dell'offerta – le aziende a cercare modi più efficaci per coordinare il flusso di materiali in entrata ed in uscita dall'azienda. La chiave di tale coordinamento sarebbe da ritrovarsi nella definizione e gestione di relazioni più viscerali e durature con i propri fornitori diretti (Mentzer et al, 2001). D'altra parte, offrire un prodotto privo di difetti al cliente, nel modo più rapido ed affidabile possibile rispetto alla concorrenza, non sembrerebbe più rappresentare un vantaggio competitivo di cui si dota l'impresa, ma semplice espressione di un requisito necessario ed indispensabile per presentarsi ed operare sul mercato. Difatti, i clienti richiedono prodotti consegnati in modo coerente rispetto alle loro necessità ed aspettative più velocemente, perfettamente in tempo e senza danni alcuni: perché ciò risulti materialmente possibile, un più stretto coordinamento con fornitori e distributori è oramai mandatorio. Sono proprio le relazioni ed i rapporti che intercorrono tra i protagonisti delle catene di approvvigionamento ad essere al centro dell'attenzione: l'orientamento globale e l'aumento della concorrenza basata sulle prestazioni, combinati con la tecnologia e le condizioni economiche in rapida evoluzione, contribuiscono tutti all'incertezza del mercato, motivo per il quale tale incertezza richiede da parte delle singole imprese e della catena di approvvigionamento una maggiore flessibilità, la quale – a sua volta

– incide sulle relazioni in oggetto, richiedendo loro stesse una maggiore flessibilità nella gestione e nello sviluppo (Fugate et al, 2006).

A questo punto, si dimostra necessario ed indispensabile operare una netta distinzione tra la definizione che la letteratura assegna al concetto di ‘supply chain’ ed a quello di ‘supply chain management’, dovendo puntualizzare che numerosi autori non concordano circa una definizione univoca, fornendo diverse alternative utili alla comprensione.

2.1.1 Supply chain

La Londe e Masters (1994) hanno assunto che diverse imprese indipendenti sono coinvolte nella fabbricazione di un prodotto e lo mettono nelle mani dell’utente finale servendosi di una catena di approvvigionamento: i membri di tale sistema si sostanziano in produttori di materie prime e componenti, assemblatori di prodotti, grossisti, commercianti al dettaglio e società di trasporto. Allo stesso modo, Lambert et al. (1998) definiscono la supply chain come la capacità delle aziende di allinearsi e collaborare, con la finalità di portare prodotti e servizi sul mercato. Si noti che tali definizioni non fanno esclusivo riferimento alle numerose aziende che collaborano tra loro, ma includono anche la figura del consumatore finale, inteso come elemento fondamentale da considerare all’interno della supply chain. Interessante si dimostra anche la definizione operata da parte di Christopher nel 1992 in ‘*Logistics and Supply Chain Management*’, secondo il quale una catena di approvvigionamento si sostanzia in una rete di organizzazioni che sono coinvolte, attraverso collegamenti a monte ed a valle, nei diversi processi ed attività che producono valore sotto forma di prodotti e servizi forniti al consumatore finale. Da ultimo, Mentzer et al. (2001) afferma che una catena di approvvigionamento sia espressione di un insieme di tre o più unità (che siano esse organizzazioni o individui) direttamente coinvolte nei flussi a monte (fornitura) ed a valle (distribuzione) di prodotti, servizi, finanze e/o informazioni da una fonte ad un cliente. In tutte queste definizioni, ciascuna differente dall’altra nella forma, è possibile identificare – però – tre diversi gradi di complessità della supply chain, distinguendo tra (Mentzer et al, 2001):

- **Direct supply chain:** si tratta di una catena di approvvigionamento costituita da un'impresa, un fornitore ed un cliente, tutti coinvolti nei flussi a monte e/o a valle di prodotti, servizi, finanze e/o informazioni;
- **Extended supply chain:** si tratta di una catena di approvvigionamento che comprende i fornitori del fornitore immediato e i clienti del cliente immediato, tutti coinvolti nei flussi a monte e/o a valle di prodotti, servizi, finanze e/o informazioni;
- **Ultimate supply chain:** si tratta di una catena di approvvigionamento che comprende tutte le organizzazioni coinvolte in tutti i flussi a monte e a valle di prodotti, servizi, finanze e informazioni dal fornitore finale al cliente finale. La figura 6 consente di delineare il livello di complessità ed articolazione che tale tipologia di supply chain può raggiungere ed il numero di partecipanti che può ricomprendere.

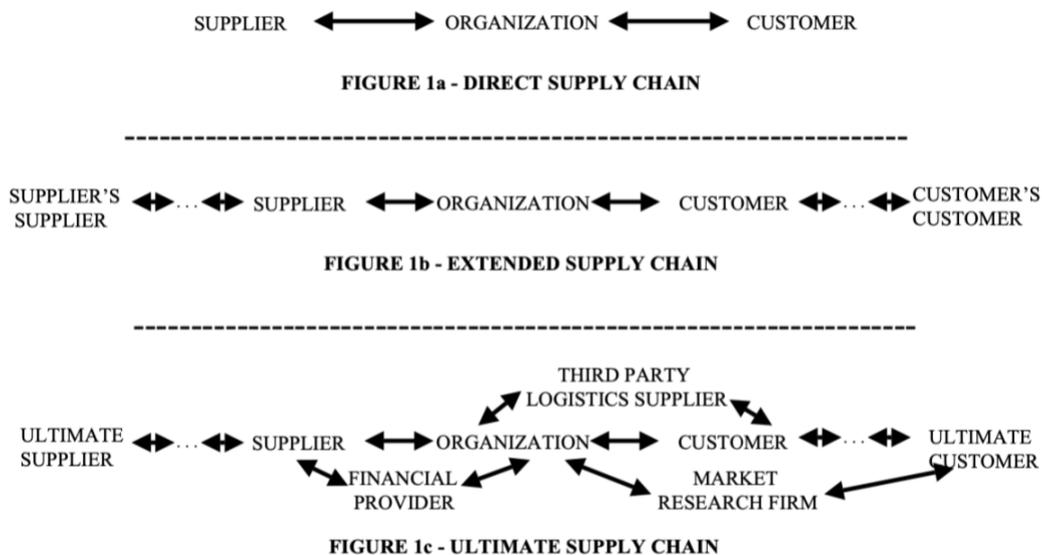


Figura 6. Le diverse tipologie di supply chain (Mentzer et al, 2001)

Delineando la distinzione che intercorre tra *supply chain* e *supply chain management*, dopo aver disquisito maggiormente nel dettaglio le differenti articolazioni che una catena di

approvvigionamento può raggiungere, è possibile assumere che le catene di approvvigionamento debbano intendersi come qualcosa che semplicemente esiste (spesso si parla di canali di distribuzione), laddove – al contrario – la *supply chain management* richiederebbe palesi sforzi di gestione da parte delle organizzazioni che si susseguono lungo la catena di approvvigionamento ^[26].

2.1.2 Supply chain management

Al pari della definizione di supply chain, la letteratura non fornisce un'univoca rappresentazione della supply chain management, mettendo a disposizione una numerosa serie di spunti. Una prima interpretazione del fenomeno della Supply Chain Management viene fornita da Oliver e Webber nel 1982, all'interno del paper 'Supply Chain Management: Logistics catches up with strategy' dove il termine veniva utilizzato per riferirsi alle tecniche poste in essere dalle imprese nel tentativo di operare una riduzione delle scorte ed affermare un'efficiente gestione del magazzino. Nel paper '*Defining supply chain management*' gli autori – d'altro canto – forniscono una tabella avuto riguardo le diverse definizioni (Tabella 1).

^[26] Dato il potenziale di innumerevoli configurazioni di supply chain avanzate, è importante notare che qualsiasi organizzazione può far parte di numerose catene di approvvigionamento. Wal-Mart, ad esempio, può far parte della catena di approvvigionamento per caramelle, per abbigliamento, per hardware e per molti altri prodotti. Questo fenomeno della catena di approvvigionamento continua a spiegare la natura della rete che molte catene di approvvigionamento possiedono. Ad esempio, AT&T potrebbe trovare Motorola come cliente in una catena di approvvigionamento, partner in un'altra, fornitore in una terza e concorrente in una quarta catena di approvvigionamento (Mentzer et al, 2001).

Monczka, Trent, and Handfield (1998)	SCM requires traditionally separate materials functions to report to an executive responsible for coordinating the entire materials process, and also requires joint relationships with suppliers across multiple tiers. SCM is a concept, “whose primary objective is to integrate and manage the sourcing, flow, and control of materials using a total systems perspective across multiple functions and multiple tiers of suppliers.”
La Londe and Masters (1994)	Supply chain strategy includes: “... two or more firms in a supply chain entering into a long-term agreement; ... the development of trust and commitment to the relationship; ... the integration of logistics activities involving the sharing of demand and sales data; ... the potential for a shift in the locus of control of the logistics process.”
Stevens (1989)	“The objective of managing the supply chain is to synchronize the requirements of the customer with the flow of materials from suppliers in order to effect a balance between what are often seen as conflicting goals of high customer service, low inventory management, and low unit cost.”
Houlihan (1988)	Differences between supply chain management and classical materials and manufacturing control: “1) The supply chain is viewed as a single process. Responsibility for the various segments in the chain is not fragmented and relegated to functional areas such as manufacturing, purchasing, distribution, and sales. 2) Supply chain management calls for, and in the end depends on, strategic decision making. “Supply” is a shared objective of practically every function in the chain and is of particular strategic significance because of its impact on overall costs and market share. 3) Supply chain management calls for a different perspective on inventories which are used as a balancing mechanism of last, not first, resort. 4) A new approach to systems is required—integration rather than interfacing.”
Jones and Riley (1985)	“Supply chain management deals with the total flow of materials from suppliers through end users...”
Cooper et al. (1997)	Supply chain management is “... an integrative philosophy to manage the total flow of a distribution channel from supplier to the ultimate user.”

Tabella 1. Definizioni di supply chain management (Mentzer et al, 2001)

La supply chain management rappresenterebbe, quindi, uno sforzo multaziendale – inteso come partnership tra i diversi attori coinvolti – atto alla gestione del flusso totale di merci, partendo dal fornitore fino ad arrivare al cliente finale (Jones e Riley, 1985), sostanziandosi in un insieme di convinzioni secondo cui ogni azienda – operativamente attiva all’interno della catena di approvvigionamento – influenzi direttamente ed indirettamente tutti gli altri membri

di suddetta supply chain, nonché l'output complessivo di quest'ultima (Cooper et al, 1997). Ciò che deve essere perseguito da tutti i componenti della catena – con l'obiettivo di un'ottimizzazione circa la gestione – si ritrova nella sincronizzazione e convergenza delle capacità operative e strategiche internazionali ed interaziendali che converge in una forza di mercato unificata capace – attraverso l'implementazione di soluzioni innovative – di creare fonti uniche e personalizzate di valore per il consumatore finale (Ross, 1998). Perché gli elementi di sincronizzazione e convergenza possano concretizzarsi è necessario che le imprese pongano in essere una serie di attività lungo la catena di approvvigionamento (Tabella 2):

1. Integrated Behavior
2. Mutually Sharing Information
3. Mutually Sharing Risks and Rewards
4. Cooperation
5. The Same Goal and the Same Focus on Serving Customers
6. Integration of Processes
7. Partners to Build and Maintain Long-Term Relationships

Tabella 2. Le attività della *supply chain management* (Mentzer et al, 2001)

Questo insieme di attività rappresenta uno sforzo coordinato circa la gestione della supply chain che coinvolge i partner della catena, quali fornitori, vettori e produttori, con la finalità di rispondere dinamicamente alle esigenze del cliente finale. Mentzer et al (2001) proseguono dando un maggiore significato alle attività riportate in tabella, assumendo che:

1. Le aziende debbano espandere il loro comportamento integrato per incorporare fornitori e clienti, laddove assumono un peso determinante anche la cultura aziendale, il pensiero condiviso etc;
2. La reciproca condivisione delle informazioni tra i membri della supply chain – quali livello di inventario, le previsioni, le strategie di promozione delle vendite e le strategie di marketing – ridurrebbe l'incertezza tra i partner di fornitura, traducendosi in un miglioramento delle prestazioni, tanto individuali quanto complessive;

3. La reciproca condivisione dei rischi e dei benefici rappresenta un'attività di fondamentale importanza se proiettata nel lungo periodo, consentendo alle imprese di operare all'unisono con l'obiettivo di creare un evidente vantaggio competitivo;
4. Indispensabile – ed essenza del concetto di Supply Chain Management (SCM) – si dimostra l'attività di cooperazione tra i diversi membri della supply chain. Anderson e Narus (1990) ritengono che tale cooperazione sia espressione di attività coordinate simili o complementari che vengono svolte dalle imprese in una relazione d'affari volta a produrre risultati – e quindi benefici – reciproci superiori. La cooperazione fa riferimento allo svolgimento di attività fondamentali in maniera cooperativa o coordinata, laddove si assume che tale attività abbia inizio con la pianificazione congiunta delle azioni e termini con attività di controllo congiunte volte a valutare le prestazioni realizzate dai singoli membri, nonché dalla supply chain vista nel suo complesso. Operare azioni di concerto consente di ridurre le scorte, perseguendo l'efficacia dei costi, consentendo di lavorare insieme per lo sviluppo di nuovi prodotti e la composizione del portfolio;
5. L'idea di perseguire il medesimo obiettivo – accompagnando ciascuna azione ad una condivisione dell'attenzione al servizio clienti – rende maggiormente agevole la possibilità di integrare la politica perseguita dalla catena di approvvigionamento, evitando situazioni di ridondanza e sovrapposizione;
6. L'integrazione dei processi – avuto riguardo tanto le attività di produzione quanto quelle di distribuzione – viene realizzata per tramite di team interfunzionali, personale fornitore interno all'impianto e fornitori di servizi di terze parti (Tyndall et al, 1998);
7. Da ultimo, la possibilità di costruire e mantenere relazioni di lungo periodo – in termini di partnership ^[27] – rappresenta uno degli elementi cruciali per il conseguimento di

²⁷ L'instaurazione di una serie di partnership all'interno della supply chain consente di determinare diversi benefici, tra i quali si annoverano (Handfield e Bechtel, 2002):

- Maggiore efficienza e riduzione dei costi: ottimizzazione delle attività di produzione, distribuzione e gestione della supply chain, migliorando l'efficienza e riducendo i costi complessivi;
- Migliore gestione del rischio: la condivisione delle informazioni tra i diversi attori della supply chain migliora la capacità di prevenire e gestire i rischi;
- Maggiore sostenibilità: l'azione condivisa consente di concentrare le forze aziendali nella definizione di pratiche ritenute maggiormente ecologiche e responsabili, laddove i valori e gli obiettivi in materia di sostenibilità rappresentino un minimo comun denominatore;

un'efficiente catena di approvvigionamento, soprattutto laddove si presentino momenti di forte difficoltà, quali le crisi economiche.

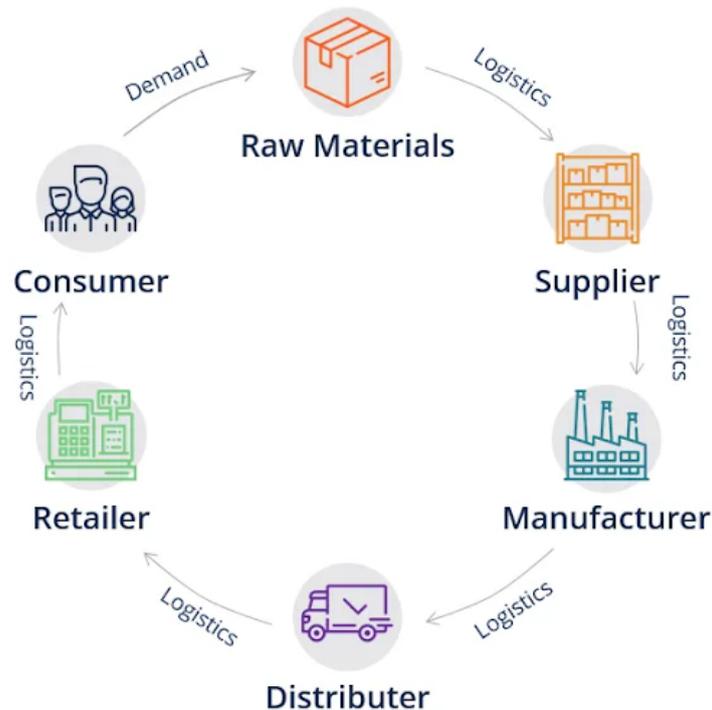


Figura 7. Le parti coinvolte all'interno della supply chain (Stadtler, 2015)

La gestione della catena di approvvigionamento non si limita quindi alla sola definizione delle diverse attività che i suoi membri devono porre in atto, ma rappresenta quel processo atto a gestire le relazioni, l'informazione ed il flusso di materiali all'interno ed all'esterno dei confini aziendali, con la finalità di fornire un servizio clienti migliorato ed un valore economico per la vasta gamma di consumatori ai quali fa riferimento. D'altra parte, Ellram e Copper in 'Supply Chain Management, Partnerships, and the Shipper-Third-Party Relationship' del 1990 assumono che una gestione efficace della catena di approvvigionamento si compone di una serie di partnership tra aziende, le quali lavorano insieme, condividendo reciprocamente

-
- Miglior customer service: le partnership – avvalendosi di una maggiore comunicazione e collaborazione tra le aziende coinvolte lungo la supply chain – consentono di migliorare il servizio che viene offerto al cliente;
 - Maggiore innovazione: condividendo idee e risorse è più probabile che vengano promosse innovazioni e sviluppo di prodotti e servizi.

informazioni, rischi e benefici e dando così luogo ad un vantaggio competitivo. Nello stesso paper, i due autori affermano anche che una catena di approvvigionamento di successo debba necessariamente fare affidamento sulla formazione di partnership strategiche connotate da prospettive di lungo periodo. Tra i processi chiave, capaci di creare vantaggio competitivo e differenziare l'efficienza e la praticità delle diverse supply chain, si menzionano la gestione delle relazioni con i clienti, la gestione del servizio clienti, la gestione della domanda, l'adempimento degli ordini, la gestione del flusso di produzione, l'approvvigionamento e lo sviluppo e la commercializzazione del prodotto (Lambert et al, 1998).

Nel tentativo di dare una definizione quanto più completa al concetto di supply chain e, conseguentemente, a quello di supply chain management, si è constatato che le relazioni che intercorrono all'interno della catena di approvvigionamento risultano essere – tipicamente – proiettate nel lungo periodo ed espressione di un oneroso coordinamento strategico. Si ritiene – ora – interessante esaminare quali siano i presupposti (antecedenti) essenziali alla base della costituzione di un'efficiente catena, così come investigare i benefici (conseguenze) che possono essere tratti dalla sua concreta implementazione, partendo da uno schema (Figura 8) estrapolato dal paper 'Defining supply chain management' di Mentzer et al. (2001)

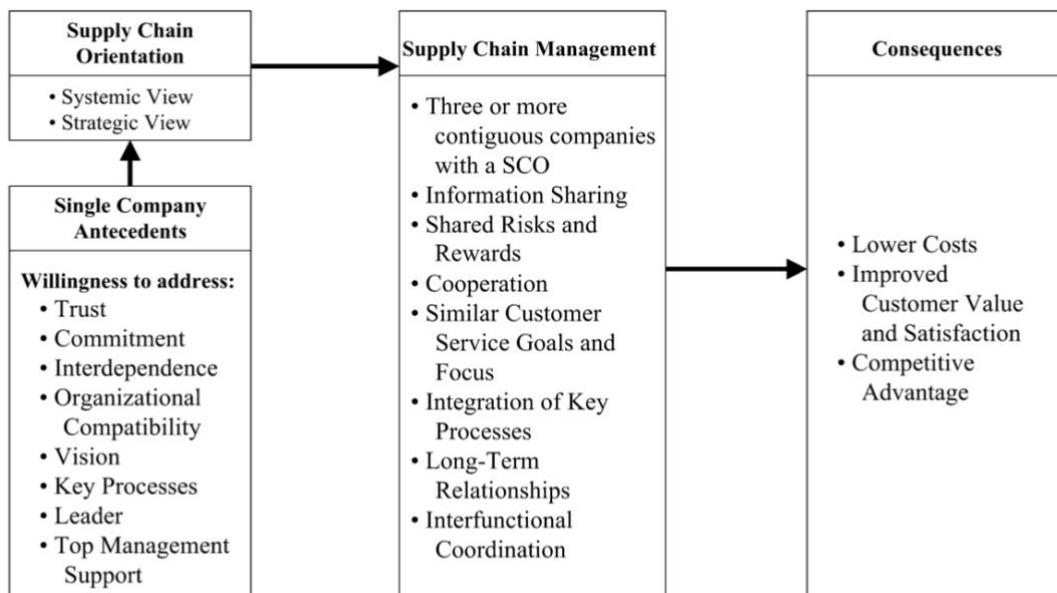


Figura 8. Presupposti e benefici della supply chain management (Mentzer et al, 2001)

Per quanto concerne gli antecedenti – come opportunamente definiti nel paper di riferimento – occupano una posizione fondamentale tanto la fiducia quanto l’impegno profuso da ciascun membro lungo l’intera catena di approvvigionamento. Difatti, l’attività di cooperazione – di cui si è discusso precedentemente – nasce proprio dalla presenza di questi due elementi. Il concetto di fiducia assume un significato importante di fronte alla necessità di superare difficoltà reciproche come possono esserlo il potere, il conflitto e la minore redditività, motivo per il quale si ritiene che la presenza di fiducia abbia delle implicazioni anche in termini di condivisione dei rischi e dei benefici (Dwyer et al, 1987). Segue poi, il concetto di interdipendenza, espressione delle necessità di un’impresa di mantenere un determinato rapporto con un determinato partner perché possano essere raggiunti determinati obiettivi: è proprio tale elemento che convince i membri di una stessa supply chain a condividere informazioni chiave, partecipare alla pianificazione congiunta e dedicare impegno nella concretizzazione delle singole attività, con la finalità di raggiungere – ciascuna parte – i propri obiettivi in maniera quanto più efficiente possibile. Lo stesso Ganesan in ‘Determinants of long-term orientation in buyer-seller relationships’ del 1994 assume che la dipendenza di un’impresa da un’altra impresa sia da ritenere positivamente correlata ad un orientamento relazionale di lungo periodo dell’impresa (Mentzer et al, 2001). Un ulteriore presupposto – necessario ed indispensabile – all’ottimale riuscita di una catena di approvvigionamento è la compatibilità organizzativa, la quale ricerca nei suoi membri complementarietà di obiettivi, somiglianza nelle filosofie operative e nelle culture aziendali: dinanzi ad una buona compatibilità organizzativa si configura un forte e positivo impatto circa l’efficacia delle relazioni che intercorrono, nel senso che la relazione si dimostra maggiormente produttiva ed utili ai fini del business (Bucklin e Sengupta 1993). In aggiunta, si inseriscono la presenza di un accordo sulla visione della supply chain management e la presenza di una serie di processi chiave condivisi, nonché la definizione di un leader all’interno della catena. Nonostante ciascun tassello parte della SC venga ritenuto essenziale, la configurazione di un’impresa che coordini e supervisioni il processo e che detenga una visione olistica complessiva è indispensabile. Da ultimo, si riscontra necessario anche il cosiddetto supporto del top management, ritenuto fondamentale nel plasmare i valori, l’orientamento e la direzione dell’organizzazione (Mentzer et al, 2001).

Dopo aver vagliato gli ‘antecedenti’ è necessario soffermare l’attenzione sui benefici che comporta l’implementazione di un’efficace supply chain management. A giustificare gli sforzi circa tale gestione è, prima tra tutte, la volontà di incrementare il vantaggio competitivo della catena di approvvigionamento stessa (Cox, 1999). Secondo alcuni autori – riportano Mentzer et al (2001) – il miglioramento del vantaggio competitivo e della redditività di un’azienda attraverso l’uso della SCM può essere realizzato aumentando la soddisfazione complessiva del consumatore, mirando a fornire un servizio clienti migliorato che ne incrementi il valore economico, possibile attraverso una gestione sincronizzata del flusso di beni fisici e di informazioni. Pertanto, si assume che l’implementazione della SCM incrementi il valore e la soddisfazione del consumatore, il che – a sua volta – porta ad un maggior vantaggio competitivo in seno alla catena di approvvigionamento, consentendo – in definitiva – un miglioramento circa la redditività della SCM nel suo complesso e dei suoi membri nello specifico. Si susseguono una serie di obiettivi chiave che vengono perseguiti per tramite di suddetta implementazione: dalla riduzione dei costi sostenuti per offrire un determinato servizio ad un determinato segmento di clienti; passando per il miglioramento del servizio clienti, possibile attraverso una maggiore disponibilità di magazzino ed una riduzione dei tempi di ciclo degli ordini, od un efficientamento del sistema di fornitura; fino ad arrivare alla definizione del vantaggio competitivo, posto in essere grazie alla presenza di un basso costo sostenuto ed una servizio differenziato. In sintesi, la gestione della catena di approvvigionamento persegue la finalità di migliorare tanto l’efficienza – intesa come riduzione dei costi – quanto l’efficacia – intesa come qualità del servizio clienti – consentendo all’impresa di ottenere un vantaggio competitivo che si traduca in redditività per la stessa (Stevens, 1989).

In definitiva, Mentzer et al. (2001) riportano come la letteratura abbia dimostrato che la supply chain management coinvolga da un lato un buon numero di imprese, ciascuna delle quali ripone la propria fiducia nelle altre, consapevole di dipendere – in parte – dall’operato degli altri membri; e dall’altro, il coordinamento delle attività commerciali lungo l’intera catena di approvvigionamento. La gestione della supply chain è, quindi, definita come:

“The systemic, strategic coordination of the traditional business functions and the tactics across these business functions within a particular company and across businesses within the supply chain, for the purposes of improving the long-term performance of the individual companies and the supply chain as a whole”. (Mentzer et al, 2001)

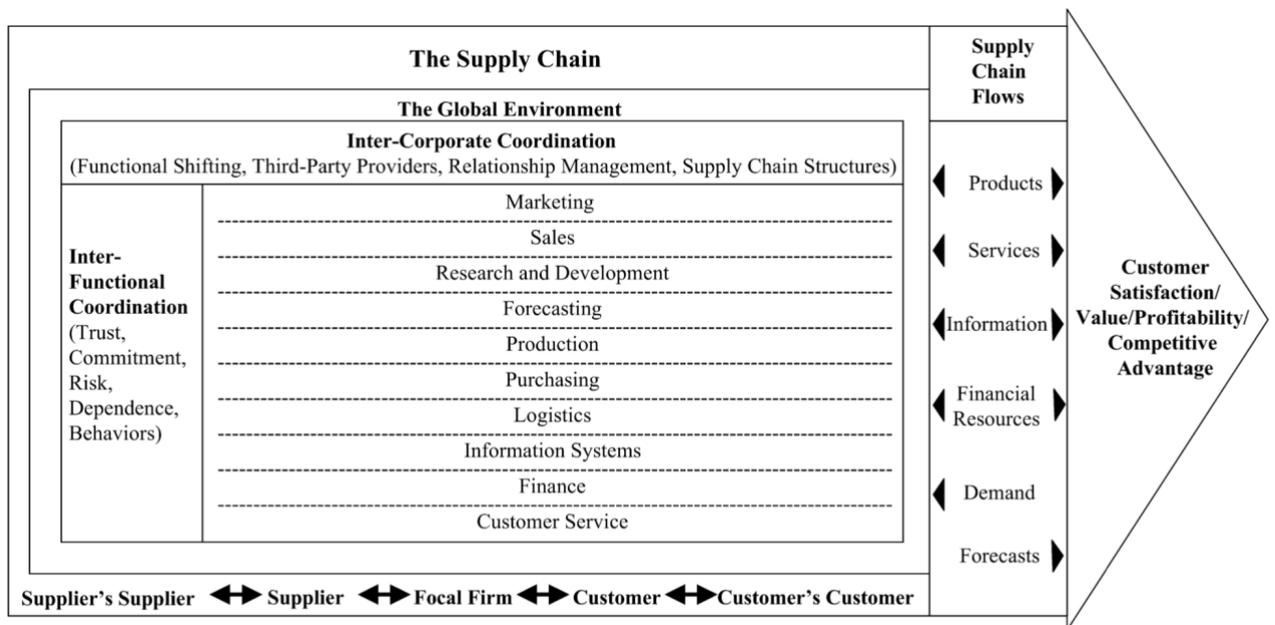


Figura 9. Un modello di supply chain management (Mentzer et al, 2001)

Tale definizione ha – negli anni – influenzato sensibilmente quanto affermato avuto riguardo la SCM e portato – al contempo – allo sviluppo del modello concettuale sopra riportato. La Figura 9 mostra, infatti, i flussi direzionali della catena di approvvigionamento (prodotti, servizi, risorse finanziarie, informazioni associate a tali flussi etc), ma anche come le funzioni aziendali tradizionali – marketing, vendite, ricerca e sviluppo, previsione, produzione, approvvigionamento, logistica, tecnologia dell'informazione, finanza e servizio clienti – siano capaci di gestire e realizzare tali flussi a partire dai fornitori del fornitore fino ad arrivare ai clienti del cliente, con l’obiettivo di fornire valore e soddisfare il cliente. Tale modello mostra, al contempo, il ruolo critico che valore e soddisfazione del cliente rivestono nel raggiungimento del vantaggio competitivo e della redditività per le singole imprese nello specifico e per l’intera catena di approvvigionamento nel suo complesso.

2.1.3 Il funzionamento della supply chain management

I tecnicismi riguardanti il funzionamento della supply chain management risultano particolarmente articolati, motivo per il quale si dimostra utile servirsi di uno schema posto in essere da Pietro Romano e Pamela Danese nel libro ‘Supply Chain Management: la gestione dei processi di fornitura distribuzione’ datato 2010. L’autore evidenzia come le imprese non possano considerarsi entità isolate, ma debbano ritenersi parte di un insieme che va al di là dell’individualismo aziendale: si origina, infatti, il cosiddetto *supply network* laddove diverse imprese interagiscono tra loro, perseguendo l’obiettivo ultimo di massimizzare il proprio beneficio e la propria redditività finale (Figura 10).

L’immagine consente di cogliere la complessità del *supply network*, laddove si dimostra necessario – da un lato – tenere in considerazione il cosiddetto *network totale*, comprensivo di tutti i membri che prendono parte alla gestione della catena di approvvigionamento e – dall’altro lato – i network che si differenziano all’interno di quello *totale*. È possibile, infatti, distinguere la presenza di un *network a monte*, il cui protagonista risulta essere la figura del fornitore ^[28] ed un *network a valle*, in cui sono i clienti a rappresentare il centro dell’azione. D’altra parte, emerge il *network a valle*, il quale si sostanzia nella miriade di clienti che un’impresa può generare con la propria attività: non si tratta necessariamente di consumatori finali, le imprese possono servirsi di rivenditori autorizzati, tanto avuto riguardo la vendita di prodotti e servizi in negozi fisici quanto shop online ^[29].

^[28] Il network a monte coinvolge tutte le tipologie di fornitori che prendono parte alla supply chain management, a partire da coloro che si occupano della fornitura delle materie prime a coloro che si occupano della lavorazione di queste ultime, fino ad arrivare a coloro che entrano in diretto contatto con l’impresa centrale. In questo modo si dimostra possibile distinguere tra fornitori di primo livello e fornitori di secondo livello, senza escludere la possibilità di numerose altre categorie di fornitori, a seconda della complessità e dell’articolazione del network esistente.

^[29] Anche in questo caso emerge una distinzione tra clienti di primo livello e clienti di secondo livello, a seconda di quanto tali figure risultino essere immediatamente a contatto con l’impresa centrale.

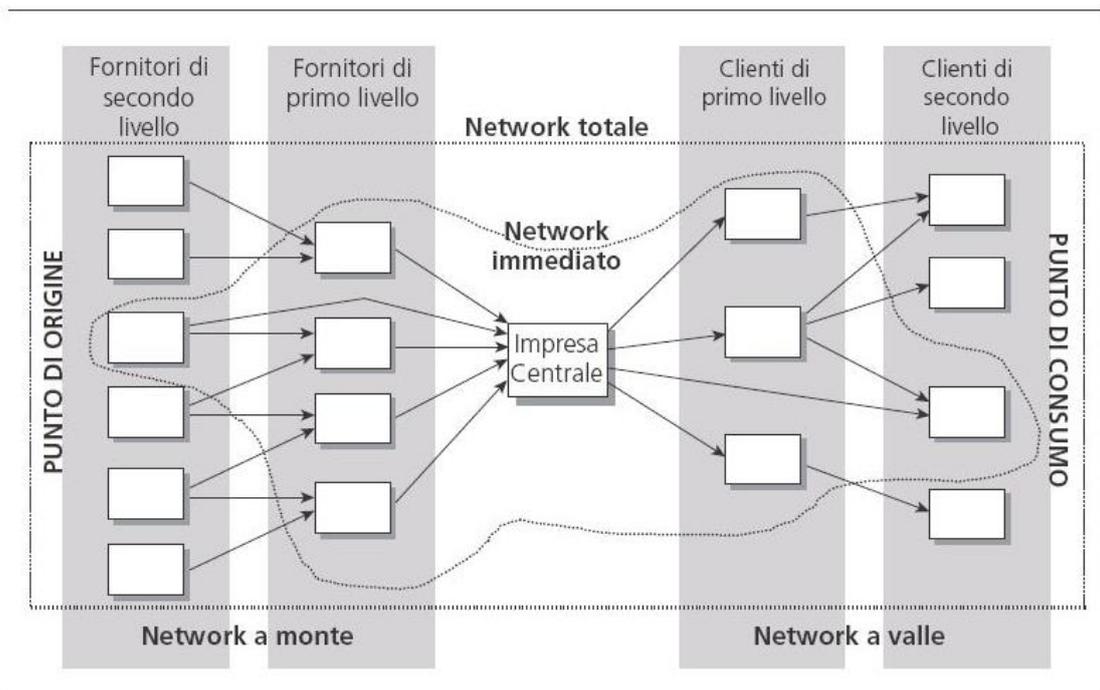


Figura 10. Supply chain management: supply network (Romano e Danese, 2010)

La complessità del network – e la sua articolazione – rendendo estremamente difficile riuscire a raggiungere la miriade di presupposti necessari al corretto ed efficiente funzionamento della supply chain management (di cui si è discusso precedentemente, avuto riguardo presupposti e benefici circa l’implementazione di una gestione della catena di approvvigionamento) ^[30].

Sempre attraverso il testo di Romano Pietro e Danese Pamela (2010) si dimostra possibile approfondire alcuni dei processi operativi – ritenuti tra i principali – che si susseguono all’interno della supply chain management (Figura 11):

- Approvvigionamento e gestione dei fornitori
- Distribuzione fisica
- Logistica
- Gestione dei materiali

^[30] Tra questi sono emersi, di fondamentale importanza, la fiducia, l’impegno, la compatibilità aziendale e la definizione di un leader all’interno del processo.

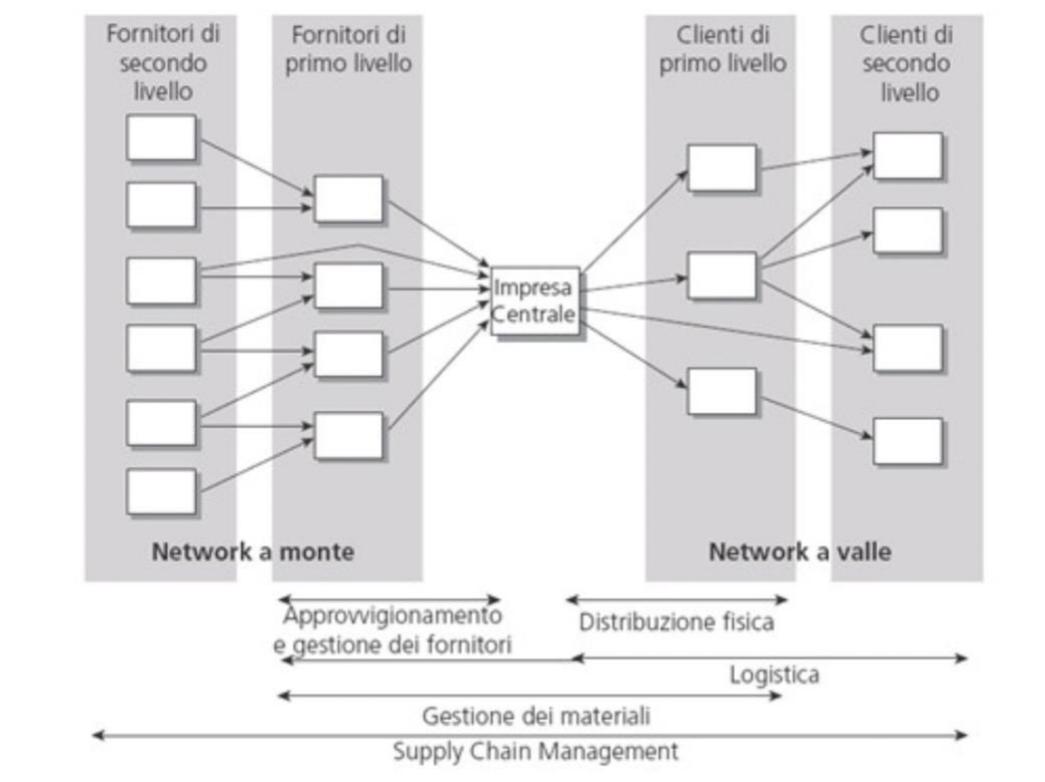


Figura 11. I processi operativi della supply chain management (Romano e Danese, 2010)

Approvvigionamento e gestione dei fornitori

L'approvvigionamento e la gestione dei fornitori incarnano attività di fondamentale importanza nella gestione della supply chain, in quanto riescono ad influenzare la capacità dell'azienda di fornire prodotti e servizi – in maniera precisa ed efficiente – ai propri clienti diretti e, di conseguenza, ai consumatori finali. Quando si parla di approvvigionamento, inteso anche con l'appellativo di *procurement*, si fa riferimento a quello specifico processo che porta all'acquisizione di materiali e servizi necessari per produrre prodotti o fornire servizi. D'altra parte, la gestione dei fornitori fa specifico riferimento alla gestione delle relazioni che intercorrono tra l'impresa centrale ed i suoi fornitori diretti al fine di garantire che le diverse attività di approvvigionamento siano condotte nel rispetto delle tempistiche, con efficacia ed efficienza (Carter e Rogers, 2008). Entrambi i processi fanno specifico riferimento al cosiddetto *network a monte*, includendo tanto i fornitori di primo livello quanto l'impresa centrale presa in considerazione in un dato momento.

Dunque, l'approvvigionamento e la gestione dei fornitori rappresentano due complessi processi, di natura tanto operativa quanto strategica, i quali coinvolgono una serie di attività (Giunipero et al, 2006):

- **Identificazione dei fornitori:** l'obiettivo dell'impresa centrale è quello identificare una serie di fornitori che soddisfino i requisiti di qualità, prezzo, tempi di consegna ed affidabilità ^[31] che l'azienda ritiene idonei (Chan et al, 2008);
- **Negoziazione dei prezzi e dei contratti:** individuati i fornitori giusti – che si ritiene possano dimostrarsi capaci rispettare i '*procurement 5 rights*' – sarà necessario stipulare i contratti per l'acquisto dei materiali
- **Gestione delle relazioni con i fornitori:** come anticipato, si tratta di un'attività di fondamentale importanza ai fini del corretto funzionamento della supply chain. Perché i propri fornitori siano in grado di garantire che le materie prime richieste siano disponibili in maniera tempestiva ed efficiente, è necessario che l'azienda gestisca attentamente e scrupolosamente i rapporti e le relazioni che intercorrono;
- **Gestione delle scorte:** è essenziale gestire ottimamente le scorte dei materiali e dei prodotti finiti, onde evitare la possibilità che si configurino scorte eccessive oppure insufficienti. Per farlo è richiesta una pianificazione accurata ed un'analisi approfondita della domanda del mercato;
- **Valutazione dei fornitori:** una volta scelti e contrattualizzati da parte dell'azienda, è necessario operare una valutazione regolare dei propri fornitori per garantire che soddisfino i requisiti necessari. Tale operazione consente di intervenire qualora non siano rispettati alcuni vincoli contrattuali o qualora si ritenga necessario incrementare la performance complessiva della catena di approvvigionamento;
- **Gestione del rischio:** onde evitare una sofferenza diffusa del sistema, è necessario tenere in considerazione la possibilità che sussistano periodi di forte difficoltà, laddove l'impresa centrale sarà chiamata sopperire all'eventuale mancanza di materie prime, alla qualità scadente dei prodotti oppure ai ritardi nella consegna. Difatti,

^[31] Tali requisiti si riassumono nella cosiddetta regola del '*procurement 5 rights*': right price, right time, right quantity, right source, right place.

l'approvvigionamento può essere influenzato da fattori esterni, i quali devono essere necessariamente tenuti in considerazione;

- **Gestione dei resi:** tale attività si concentra sulla gestione dei materiali che non soddisfano i requisiti sopra enunciati (5 rights).

Distribuzione fisica

Il processo che vede coinvolta la distribuzione fisica – avuto riguardo il cosiddetto *network a valle* e coinvolgendo l'impresa centrale da un lato, e i clienti di primo livello dall'altro – fa riferimento a tutte quelle attività che vengono poste in essere con la finalità di trasferire il prodotto o servizio in oggetto dal magazzino dell'impresa centrale – la quale si è preoccupata di lavorare il prodotto a seguito della consegna delle materie da parte dei propri fornitori – al magazzino del proprio cliente. La distribuzione fisica è un'importante area di attenzione per le aziende poiché rappresenta una fonte di vantaggio competitivo, grazie alla sua capacità di migliorare la soddisfazione del cliente e ridurre i costi operativi (Gaudenzi e Christopher, 2016).

Tra le principali attività della distribuzione fisica si annoverano (Chen e Paulraj, 2004):

- **Gestione delle scorte:** anche in questo processo si dimostra fondamentale tale attività. In questo caso comprende la pianificazione, l'acquisto e la gestione delle quantità di prodotto necessarie per soddisfare la domanda dei clienti, richiedendo – inevitabilmente – la definizione di politiche di riordino, la determinazione dei livelli di stock di sicurezza e la valutazione dei costi associati alle scorte;
- **Magazzinaggio:** si tratta principalmente della gestione dei depositi e dei magazzini in cui i prodotti vengono temporaneamente stoccati prima di essere consegnati ai clienti. Vengono, quindi, richieste politiche di stoccaggio, l'organizzazione dei prodotti all'interno del magazzino e la gestione degli spazi disponibili;
- **Pianificazione ed organizzazione del trasporto:** tali attività comprendono, da un lato, la determinazione dei mezzi di trasporto da utilizzare per la consegna dei prodotti ai clienti e, dall'altro, la preparazione dei prodotti per la spedizione, la scelta dei vettori e la gestione delle documentazioni necessarie per il trasporto. D'altra parte, si richiede la definizione di politiche di trasporto, la gestione dei tempi di consegna e la pianificazione

delle rotte, ma anche la gestione delle eventuali problematiche che possono verificarsi durante il trasporto;

- **Consegna finale:** si tratta della consegna fisica dei prodotti o servizi ai consumatori finali, la quale può avvenire direttamente oppure tramite intermediari
- **Monitoraggio delle prestazioni:** si tratta di un'attività fondamentale per garantire l'efficienza e l'efficacia del processo di distribuzione fisica, prevedendo la misurazione e l'analisi delle prestazioni in termini di tempi di consegna, costi, qualità del servizio e soddisfazione del cliente, al fine di individuare eventuali aree di miglioramento e intervenire tempestivamente per correggere eventuali problemi.

Logistica

Tale processo operativo svolge un ruolo cruciale all'interno della supply chain, poiché gestisce il movimento delle merci e delle informazioni tra i diversi attori coinvolti, ricomprendendo tutte quelle attività che vengono realizzate a partire dall'impresa centrale fino al consumatore finale. Alcune attività appaiono particolarmente simili a quelle ripercorse nel processo di distribuzione fisica: a partire dalla gestione del magazzino fino alla gestione dei rischi. Langley et al (2017) concordano su alcune delle principali attività:

- **Gestione del magazzino:** si occupa di gestire il magazzino e le attività ad esso correlate, come la ricezione, l'immagazzinamento, la preparazione degli ordini e la spedizione delle merci;
- **Trasporto:** la logistica si occupa dell'organizzazione circa il trasporto delle merci dalla fonte al destinatario, scegliendo il mezzo di trasporto più appropriato e gestendo i tempi di consegna;
- **Gestione degli ordini:** si tratta del coordinamento della gestione degli ordini, con la finalità di garantire la corretta consegna delle merci al cliente finale;
- **Pianificazione e coordinamento:** coordinamento delle attività di tutti gli attori coinvolti nella catena di approvvigionamento, tra cui fornitori, produttori, distributori e clienti finali;

- **Gestione dei rischi:** si tratta della gestione dei rischi associati alla supply chain, tra cui quelli legati alla sicurezza dei trasporti e alla gestione delle emergenze.

Gestione dei materiali

A ricomprendere tanto parte del *network a monte* quanto parte del *network a valle* è il processo della gestione dei materiali, il quale persegue l'obiettivo di garantire che i materiali necessari siano disponibili al momento giusto, al luogo giusto ed al prezzo giusto. Tra le principali attività si annoverano (Monczka et al, 2015):

- **Acquisizione dei materiali:** La gestione dei materiali inizia con l'acquisizione dei materiali da parte dei fornitori. Questa attività include la selezione dei fornitori, la negoziazione dei prezzi e delle condizioni di pagamento, la creazione di contratti e la gestione delle relazioni con i fornitori.
- **Pianificazione della produzione:** La gestione dei materiali implica anche la pianificazione della produzione in base alle esigenze dei clienti. Questa attività prevede la determinazione della quantità di materiali necessari per la produzione, la pianificazione dei tempi di consegna dei materiali e la pianificazione della produzione in base alla disponibilità dei materiali.
- **Gestione dell'inventario:** La gestione dei materiali include la gestione dell'inventario dei materiali per garantire che ci sia sempre la giusta quantità di materiali disponibile. Questa attività prevede il monitoraggio degli stock, la gestione delle scorte di sicurezza e la riduzione degli sprechi.
- **Trasporto e logistica:** La gestione dei materiali include anche il trasporto e la logistica dei materiali. Questa attività prevede la pianificazione dei trasporti, la gestione dei magazzini e la gestione della distribuzione dei materiali.
- **Controllo di qualità:** La gestione dei materiali prevede anche il controllo di qualità dei materiali per garantire che siano conformi agli standard di qualità richiesti. Questa attività prevede la valutazione della qualità dei materiali, l'identificazione dei problemi di qualità e l'attuazione di misure correttive.

2.1.4 Modelli di supply chain management

Prima di concentrare la ricerca e l'attenzione al processo di implementazione della tecnologia blockchain alla gestione della catena di approvvigionamento, si dimostra interessante approfondire i diversi modelli di supply chain che – ad oggi – risultano maggiormente utilizzati da parte delle aziende. Ciascuna realtà aziendale ha sentito la necessità, nel corso degli anni, di adattare le proprie necessità di business alla struttura ed al funzionamento della propria supply chain, coinvolgendone anche i membri, dai fornitori ai clienti. Ciascun modello presenta, inevitabilmente, una serie di vantaggi e di svantaggi che meglio possono adattarsi alle esigenze di una determinata realtà aziendale. Di seguito si riportano i modelli di maggiore impatto (Christopher, 2016):

1. Modello tradizionale

Si tratta del modello di supply chain basato sulla pianificazione della produzione e dei materiali che vengono implementati lungo l'intera catena. L'impresa centrale, all'interno di questo modello, svolge un ruolo fondamentale, gestendo direttamente tutte le fasi ed i processi operativi: dal procurement alla distribuzione dei prodotti finiti, passando per la produzione. Ciononostante, non si dimostra un modello particolarmente articolato, motivo per il quale si sostiene sia ottimale per realtà di business che generano prodotti standardizzati, laddove la domanda risulti prevedibile e stabile, e l'offerta non debba gestire grandi variabili al di fuori di quelle già note.

2. Modello collaborativo

Definito anche con l'appellativo di supply chain partnership, tale modello prevede la gestione della supply chain – non incentrata su un'unica impresa, come nel caso del modello tradizionale – basata sulla collaborazione tra i diversi membri coinvolti, ciascuno dei quali occupa un ruolo di fondamentale importanza: fornitori, produttori, distributori e clienti finali. L'obiettivo perseguito è quello di creare una rete di collaborazione in cui tutte le parti coinvolte condividano informazioni, risorse e competenze atte a migliorare l'efficienza e l'efficacia della supply chain. Si tratta di uno dei modelli che meglio si presta all'implementazione della tecnologia blockchain, in quanto richiede la creazione di relazioni di lungo termine con i partner

commerciali e, quindi, di sviluppare un elevato livello di fiducia e trasparenza: le informazioni vengono scambiate in modo aperto e tempestivo, permettendo di prendere decisioni basate sui dati in tempo reale e di eludere – in gran parte – il fenomeno dell’asimmetria informativa e dell’azzardo morale. Tale modello risulta idoneo ad aziende che desiderino concentrarsi sulle proprie competenze core, delegando le attività che ritengono maggiormente operative.

3. Modello agile

Come ben spiega il nome, si tratta di un modello che prevede una gestione flessibile della catena di approvvigionamento, laddove l’impresa centrale risulta in grado di adattarsi rapidamente ai cambiamenti che investono il mercato e, soprattutto, la sua domanda. Difatti, le principali peculiarità che emergono sono propria la flessibilità e la velocità con cui la supply chain riesce a riorganizzarsi, mantenendo la propria efficienza ed efficacia costanti. Anche in tale contesto, la collaborazione con i diversi membri della supply chain rappresenta un fattore chiave per il successo della catena: le aziende collaborano per scambiarsi informazioni sulle previsioni di vendita, sulle capacità produttive e sulla disponibilità dei prodotti, al fine di garantire la massima flessibilità e velocità nella gestione. Tale modello sembrerebbe idoneo ad un’implementazione da parte di aziende che operano in mercati altamente competitivi e dinamici, in continua evoluzione: le aziende che adottano il modello di supply chain agile cercano di creare una catena di approvvigionamento in grado di gestire rapidamente le fluttuazioni della domanda dei clienti e dei cambiamenti del mercato, come la variazione delle tendenze di acquisto e la disponibilità dei prodotti; in questo modo, le aziende si dimostrano capaci di ridurre il rischio di perdite di vendite o di eccessi di magazzino (Christopher e Towill, 2001).

4. Modello circolare

Tale modello, a differenza degli altri, prevede una gestione sostenibile della supply chain, laddove l’azienda – e, quindi, l’intera catena – si preoccupa di ridurre l’impatto ambientale dei propri prodotti e processi. Quello circolare è un modello che si basa proprio sul principio dell’economia circolare, perseguendo l’obiettivo di ridurre l’utilizzo delle risorse naturali, favorendo – al contrario – il riutilizzo, il riciclo ed il ripristino dei materiali: i prodotti ed i

materiali verrebbero tenuti in circolazione il più a lungo possibile attraverso pratiche di riparazione, ricondizionamento, riciclaggio e riprogettazione. In tale contesto, la compatibilità organizzativa e la cultura aziendale giocano un ruolo di fondamentale importanza: difatti, non solo l'impresa centrale deve perseguire l'obiettivo di porre in essere un sistema circolare, ma tutti i membri facenti parte della catena di approvvigionamento devono sostenere tale visione. Tukker (2015) sostiene che il modello circolare sia adatto per quelle aziende che, ad oggi, desiderano adottare una visione di lungo periodo, contribuendo allo sviluppo sostenibile dell'economia.

5. Modello lean

Il modello lean – anche noto come *produzione snella* – si basa sul principio di eliminare gli sprechi, massimizzando – al contempo – il valore per il cliente. Attraverso un'efficiente gestione della catena di approvvigionamento risulterebbe, infatti, possibile ridurre al minimo lo spreco di materiali e risorse, ma anche di denaro, concentrando la produzione solo su ciò che è realmente necessario al cliente finale, senza dover accumulare scorte inutili. Per raggiungere tale obiettivo, tra le pratiche maggiormente utilizzate si annoverano: il Just in Time (JIT), la produzione a cellula, il controllo di qualità continuo, la standardizzazione dei processi, il miglioramento continuo (Kaizen), e la formazione dei dipendenti (Shah e Ward, 2003). Tra quelle più rinomate si menziona la Just in Time (JIT), una pratica di produzione che consiste nell'organizzare la produzione in modo da avere solo ciò che serve al momento giusto e nella quantità giusta. La filosofia su cui si fonda è 'produci ciò che serve, quando serve e nella quantità che serve'. Ovviamente, porre in essere una filosofia del genere non si dimostra affatto semplice: le aziende, infatti, per raggiungere tale obiettivo devono operare una riduzione degli stock ed, al contempo, produrre esclusivamente su richiesta, potendo così ridurre gli sprechi di materiali e minimizzare i costi di gestione della produzione. Un'azienda che implementi la pratica Just in Time, ad esempio, ordina i materiali solo quando ne ha realmente bisogno, di modo tale da non accumulare scorte e non bloccare il proprio capitale; organizza la produzione in modo tale da evitare l'accumulo di inventari di prodotto finito e lavori in corso; produce solo ciò che viene direttamente ordinato dai clienti. Tale pratica richiede una ferrea collaborazione tra i membri di una data supply chain, di modo tale da garantire che i materiali arrivino al

momento giusto e nella quantità giusta, evitando ritardi o sprechi. Ovviamente, tale modello – al pari di quello collaborativo – si presta all’implementazione della tecnologia blockchain, proprio perché la condivisione in tempo reale delle informazioni si dimostra un fattore chiave per il successo complessivo della catena di approvvigionamento e per la soddisfazione del consumatore finale (Womack et al, 2007).

2.2 L’IMPLEMENTAZIONE DELLA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN ALLA SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Dopo aver analizzato le principali peculiarità della supply chain management – partendo dalla sua definizione fino ad arrivare ai diversi modelli che la vedono protagonista, passando per il suo funzionamento ed i suoi processi operativi – è necessario indagare in quale modo la tecnologia blockchain – di cui sopra – possa rappresentare un fattore di vantaggio qualora implementata all’interno della catena di approvvigionamento. D’altra parte, la gestione della catena di approvvigionamento rappresenta una delle principali sfide per le aziende moderne alla luce della complessità dei suoi processi: dallo sviluppo del prodotto alla consegna dello stesso al cliente finale. Tutto ciò comporta – inevitabilmente – numerose difficoltà, le quali devono essere affrontate e risolte con l’obiettivo di garantire la soddisfazione del cliente e la competitività dell’azienda. Tra le principali criticità si annoverano le attività di pianificazione della produzione e dell’approvvigionamento dei materiali, la gestione degli stock ed il controllo delle scorte, così come i processi di logistica e distribuzione sono oggetto di problematiche per le aziende nello specifico. Da ultimo, le criticità maggiori riguardano anche le relazioni che intercorrono tra i diversi membri della supply chain: come anticipato nei paragrafi precedenti, la gestione della catena di approvvigionamento coinvolge numerosi attori – dai fornitori ai consumatori – ciascuno dei quali persegue obiettivi diversi, nel tentativo di massimizzare il proprio benessere e raggiungere i propri interessi individuali (Dutta et al, 2020). Tale situazione può porre in essere una serie di conflitti e tensioni all’interno della catena di approvvigionamento, influenzando negativamente l’efficienza e la qualità del prodotto finale: difatti, anche solo il comportamento *scorretto* di uno dei membri, rischia di mettere in difficoltà le altre parti della catena. Si affrontano principalmente problemi di asimmetria informativa – laddove un membro detiene maggiori informazioni rispetto ad altri, potendole utilizzare a

proprio vantaggio – e di azzardo morale ^[32]. L'interesse nei confronti di tale tecnologia DLT (Distributed Ledger Technology) – come è già stato possibile investigare – risiede nella sua capacità di fornire una promettente alternativa all'attuale modello di fiducia che ha, a lungo, creato difficoltà ed inefficienze all'interno dei sistemi centralizzati. Difatti, le operazioni commerciali tradizionali si basano fortemente su un'autorità centralizzata o su terzi per promuovere e mantenere la fiducia tra i diversi membri della catena. Ciononostante, all'interno di un sistema fortemente centralizzato il maggior rischio è quello di essere bersaglio di attacchi dannosi, malfunzionamenti ed alterazioni artificiali (Chang e Chen, 2020). In tale contesto emerge, quindi, la tecnologia blockchain, la quale consentirebbe di ripensare completamente la progettazione delle operazioni aziendali in virtù delle sue peculiarità: consenso distribuito e decentramento. Dunque, proprio alla luce di tali criticità, si ritiene che l'implementazione della tecnologia blockchain al funzionamento della supply chain management rappresenti una delle più promettenti innovazioni degli ultimi anni: grazie alla sua capacità di creare registri distribuiti, sicuri ed immutabili, tale tecnologia consente di tracciare ogni fase della produzione e della distribuzione dei beni, migliorando aspetti quali trasparenza, efficienza e sicurezza. Di qui, sarà possibile indagare le principali innovazioni che la blockchain sembrerebbe capace di apportare, concentrandosi principalmente su alcuni aspetti, come la fiducia, la collaborazione o lo scambio di informazioni (Dutta et al, 2020).

Ad oggi, è noto come la tecnologia blockchain possa essere implementata per migliorare la tracciabilità dei prodotti lungo la catena di fornitura, poiché la sua capacità di tenere traccia di ogni passaggio del processo produttivo – dalla produzione alla distribuzione, dalle attività svolte dai fornitori fino a quelle dei clienti – consente alle aziende di identificare eventuali problemi o inefficienze, intervenendo tempestivamente per risolvere qualsiasi tipologia di

^[32] L'azzardo morale si riferisce ad una situazione in cui un individuo o un'azienda, dopo aver preso una decisione che comporta un certo rischio, ha meno incentivi a prevenire il rischio stesso poiché non deve sopportarne tutte le conseguenze negative. In altre parole, l'azzardo morale si verifica quando un'entità che ha il controllo su una determinata situazione prende decisioni rischiose sapendo che se le cose andranno male, non dovrà subire tutte le conseguenze negative.

In generale, l'azzardo morale può verificarsi in qualsiasi situazione in cui le persone o le aziende hanno meno incentivi a prevenire il rischio a causa della presenza di un'assicurazione, una garanzia o altre forme di protezione dalle conseguenze negative delle loro azioni (Marshall, 1976).

rischio nascente. La tecnologia blockchain può, infatti, essere applicata alle catene di approvvigionamento per i dati transazionali poiché le merci cambiano proprietà lungo la catena di approvvigionamento. Le transazioni inserite su una soluzione di supply chain basata su blockchain sarebbero convalidate dal consenso di tutti i partner della catena di approvvigionamento e di altri: tutte le parti sono responsabili delle informazioni sulla catena (Antonopoulos, 2014).

D'altra parte, tale tecnologia – se implementata lungo i processi della supply chain – potrebbe aiutare a garantire la sicurezza dei dati, consentendo alle aziende di proteggere le informazioni sensibili e prevenire frodi o attacchi informatici (Kshetri, 2021). Oltretutto, è importante sottolineare che, anche in questo caso, gli smart contracts rappresentano un fattore chiave, potendo essere utilizzati per automatizzare le transazioni, garantendone – al contempo – la tutela e la sicurezza. E, poiché la blockchain con le sue caratteristiche uniche consente di generare processi aziendali più snelli ed una maggiore trasparenza e fiducia tra le parti interessate, esplorare la sua applicazione all'interno della catena di approvvigionamento, si dimostra necessario ed indispensabile (Viriyasitavat e Hoonsopon, 2019).

Questo tipo di sistema di contabilità distribuita – appunto, la tecnologia blockchain – raccoglie i benefici di una governance decentralizzata, la quale persegue l'obiettivo di risolvere il problema dell'esposizione dei singoli membri della catena e della responsabilità delle informazioni che vengono condivise lungo l'intera supply chain (Neisse et al, 2017). D'altra parte, poiché ogni singolo nodo possiede un duplicato di dati transazionali, ciò consente di migliorare – di gran lunga – la trasparenza e la visibilità di tutte le attività aziendali. Immediando tali peculiarità in un contesto di supply chain è possibile offrire – inevitabilmente – una migliore base di fiducia, così come benefici derivanti dall'assenza di un'autorità centralizzata e di un'intermediazione (Chang e Chen, 2020). Di qui, tale tecnologia potrebbe – quindi – essere utilizzata per registrare la proprietà delle risorse, le autorizzazioni ed i registri delle attività, migliorando la tracciabilità delle informazioni, del denaro e dei flussi di processo, fornendo – al contempo – un monitoraggio tempestivo circa lo stato di prodotti e servizi (Toyoda et al, 2017). Nell'analisi di tale quadro operativo, sarà necessario tenere in considerazione le diverse tipologie di blockchain, esaminate nel corso del primo capitolo:

queste ultime, infatti, si differenziano tra blockchain pubbliche, private e consortili, ciascuna delle quali prevede peculiarità e limitazioni specifiche a seconda dell'utilizzo che ne viene previsto.

Un'ulteriore aspetto, da tenere necessariamente in considerazione, avuto riguardo l'implementazione della blockchain lungo la catena di approvvigionamento, è l'utilizzo degli smart contract. Come si è approfondito, questi ultimi rappresentano protocolli programmabili che consentono l'esecuzione di termini ed accordi contrattuali, laddove tali contratti vengono posti in esecuzione qualora vengano precedentemente soddisfatte determinate condizioni prestabilite. Il vantaggio insito nell'utilizzo di tali contratti si cela nell'assenza – anche in questo specifico caso – di intermediari, poiché il contratto sprigiona i propri effetti in autonomia, nel momento in cui suddette condizioni vengano effettivamente a realizzarsi. È proprio in virtù delle sue caratteristiche che gli smart contract rappresentano un potenziale caso d'uso all'interno della catena di approvvigionamento: con gli aggiornamenti dei dati ed un meccanismo basato sugli eventi, tali contratti possono facilitare la manipolazione delle attività della catena di approvvigionamento, soprattutto perché le tradizionali procedure cartacee relative alla raccolta e alla presentazione di documenti commerciali potrebbero essere notevolmente mitigate con l'uso dei contratti, riducendo i costi di transazione ed il numero di intermediari coinvolti. (Dolgui et al, 2020). Ad esempio, i progetti commerciali pilota, come IBM e Maersk, hanno recentemente annunciato il successo circa l'adozione della tecnologia blockchain e degli smart contract per il monitoraggio delle spedizioni e la facilitazione del finanziamento commerciale, riscontrando notevoli benefici nel miglioramento dell'efficienza commerciale, perseguendo l'obiettivo di ottenere l'automazione dei processi anche all'interno della catena di approvvigionamento (Chang e Chen, 2020). Al di là degli smart contract, anche le questioni di tracciabilità e trasparenza stanno acquisendo un'importanza fondamentale, spiegando – ulteriormente – in quale modo la blockchain potrebbe essere applicata alla supply chain management.

2.2.1 Tracciabilità e trasparenza

La tracciabilità e la trasparenza rappresentano – ormai da tempo – questioni critiche all’interno dell’attività di supply chain: difatti, tra le principali criticità si annoverano la presenza di intermediari *difficili*, passaggi di processo, operazioni aziendali eccessivamente centralizzate etc (Garcia e You, 2015). La tecnologia blockchain può – come tecnologia condivisa distribuita – aiutare ad incrementare la tracciabilità e ad estendere la visibilità della catena di approvvigionamento in virtù del suo meccanismo di consenso condiviso e grazie alla presenza del libro mastro, di cui ciascun nodo detiene una copia identica. In questo modo, ogni singolo utente che partecipa alla piattaforma blockchain – che sia essa pubblica, privata o consortili a seconda delle necessità – convalida, in modo collaborativo (coinvolgendo tutti i partecipanti alla supply chain), i record delle transazioni nel registro comune: fornitori, produttori, distributori e clienti hanno, quindi, una duplicato della catena di blocchi ed il permesso di accedere alla stessa per monitorarne – costantemente – l’avanzamento dei flussi di processo (in quale stato si trova un dato ordine, la quantità in cui un dato materiale è disponibile etc). di fondamentale importanza, ai fini dell’instaurazione di una maggiore fiducia e trasparenza, si dimostra l’immutabilità delle transazioni. Colossi industriali come Walmart ed Everledeger hanno dimostrato – nel corso di questi anni – la capacità della tecnologia blockchain di migliorare la visibilità della distribuzione fisica, il trasferimento delle risorse e la garanzia della qualità (Chang e Chen, 2020); oltretutto, sembra che l’integrazione della blockchain e delle tecnologie emergenti – come l’Internet of Things – consentirà una migliore performance in termini di monitoraggio in tempo reale delle attività logistiche (Hasan et al, 2019). In definitiva, introducendo una maggiore sicurezza delle attività della supply chain ed incrementando la responsabilità tra gli attori della catena di approvvigionamento – dai fornitori ai clienti, ciascuno è maggiormente responsabile delle proprie azioni, dovendo queste essere certificate e registrate all’interno della catena di blocchi, la quale risulta immutabile – la blockchain risulta capace di mitigare le controversie tra le imprese coinvolte; in questo senso, le parti interessate possono incrementare il loro grado di fiducia ^[33], alleviando tutta quella serie di rischi che, solitamente,

^[33] La fiducia, come è già stato sottolineato, è spesso debole tra le parti commerciali sconosciute, motivo per il quale la blockchain – sfruttando le sue peculiarità (consenso distribuito, libro mastro, immutabilità etc) – può creare valore all’interno della catena di approvvigionamento. Non solo la fiducia, ma anche la sicurezza è oggetto di miglioramento: attraverso l’implementazione di tale tecnologia risulta possibile fornire la

si registra durante la conduzione delle transazioni. Le imprese possono – quindi – trarre vantaggio dalla riduzione del trattamento dei documenti cartacei (in virtù dell'implementazione degli smart contract) e risparmiare sui notevoli costi connessi al monitoraggio e all'ottenimento della prova di autenticità delle informazioni; in questo modo si ottiene uno schema di lavoro della supply chain migliorato, con una tracciabilità e trasparenza più efficienti, minore intermediazione e automazione dei processi quando si effettuano transazioni blockchain con le controparti. Da ultimo, gli attributi di governance e trasparenza distribuiti della tecnologia blockchain possono anche fornire soluzioni ad alterazioni dannose in un sistema centralizzato, come disposto inizialmente (Chang e Chen, 2020).

2.2.2 Collaborazione delle parti interessate

Come è noto, la blockchain si trova nelle condizioni di sfruttare il proprio potenziale laddove possa contare su una collaborazione che si estende su larga scala, coinvolgendo le parti interessanti. D'altra parte, è altrettanto noto che, l'attrito della supply chain e le sue principali criticità, possono essere ricondotte alla disconnessione – e, quindi, il mancato allineamento – che emerge tra le parti. In questo senso, la partecipazione congiunta dei membri della catena di approvvigionamento è capace di migliorare – sensibilmente – le prestazioni complessive di un ecosistema blockchain (Hald e Kinra, 2019). Ed è proprio nella collaborazione che si riscontra un forte ostacolo circa l'implementazione della tecnologia lungo i processi operativi e strategici della catena di approvvigionamento: i membri sono, infatti, abituati al meccanismo di fiducia sostenuto dalle autorità centrali, motivo per il quale hanno minore fiducia nell'efficacia di un paradigma che prevede un'assenza di fiducia, o meglio, un consenso distribuito. Ciò fa sì che, siano la mentalità culturale ed i processi aziendali esistenti a modificarsi, prima che possa essere concretamente implementata tale tecnologia. È, comunque, necessario tenere in considerazione che tale tecnologia presenta – attraversando, attualmente, le sue fasi nascenti e di sviluppo – alcuni limiti: scalabilità, sicurezza e privacy, ma anche capacità di blocco, problemi di alimentazione energetica ed interoperabilità. Tale situazione porta le imprese a focalizzarsi,

verifica dell'autenticità di proprietà o documenti, tramite firme digitali o altre misure crittografiche, prevenendo in questo modo la contraffazione (Toyoda et al, 2017).

ulteriormente, sulla tipologia di blockchain maggiormente adatta alla realtà aziendale in oggetto: pubblica, privata o consorziale.

2.2.3 Integrazione e digitalizzazione della supply chain management

Nel corso di questo capitolo si è insistito sul ruolo che assume pragmaticamente la blockchain, a partire dalla sua capacità tecnica di svolgere un ruolo fondamentale nella condivisione delle informazioni fino ad arrivare al trasferimento di proprietà e valore, accompagnando queste attività garantendo fiducia ed affidabilità. La particolarità si concentra proprio nel potenziale digitale e tecnologico che viene implementato, laddove le imprese – attraverso l’implementazione di tale tecnologia – hanno la possibilità di perseguire i propri obiettivi strategici grazie all’integrazione dei processi dei numerosi e complesso processi aziendali. La supply chain si compone – come anticipato nei precedenti paragrafi – di una serie di attività interrelate ed interdipendenti: la possibilità di unificare queste attività rendendo noto ciascun processo – da monte a valle – ad ogni singolo attore della catena, consente una maggiore visibilità e consapevolezza a tutte le parti coinvolte, permettendo di intervenire – in qualsiasi momento – laddove necessario. Ciò fa sì che la tecnologia blockchain, finalizzata al miglioramento della catena di approvvigionamento, possa concretamente rappresentare un’innovazione dirompente, capace di migliorare non solo la trasparenza, la sicurezza e la privacy, ma anche di diventare – in un contesto in cui la persecuzione degli obiettivi individuali ed egoistici risulta maggioritaria – una forza trainante di cooperazione tra parti non fidate. In tal senso, la formazione di un quadro comune può orientare il livello di partecipazione poiché la più grande preoccupazione per gli attori della catena di approvvigionamento è come il framework distribuisce valore a ciascuna entità e quale valore cattura l’azienda all’interno dell’ecosistema blockchain (Malik et al, 2019). Difatti, viene consentito di facilitare i flussi di processo, migliorando l’efficienza dei trasferimenti e dei regolamenti dei pagamenti, così come l’utilizzo degli smart contract permetterebbe il monitoraggio degli eventi e degli accordi in essere lungo l’intera catena di approvvigionamento, consentendo la semplificazione delle operazioni commerciali e, quindi, facilitando l’esecuzione delle logiche aziendali. In sintesi, l’idea di implementare la tecnologia blockchain al complesso meccanismo e funzionamento della supply chain, promuove il coinvolgimento di tutte le parti interessate con la finalità di

raggiungere un obiettivo comune, consapevoli dell'interdipendenza sulla quale si fondano le attività di tutte le parti. L'importanza degli smart contract si dimostra, dunque, assoluta circa l'efficientamento della catena di approvvigionamento: tali contratto – come già investigato – hanno la capacità di attivare notifiche corrispondenti alle parti interessate della supply chain solo nel momento in cui vengano soddisfatte determinate condizioni prestabilite tra gli attori, quali – ad esempio – l'arrivo delle merci, il pagamento ricevuto oppure la spedizione di documenti approvati. Tale peculiarità consente, quindi, di eliminare la figura dell'intermediario che debba appurare l'avvenuta transazione e rivolgersi ad entrambe le parti: da un lato per verificare che sia avvenuta la controprestazione richiesta e, dall'altra – laddove avvenuta quest'ultima – finalizzare il pagamento. Oltre ad una riduzione dei costi di transazione sostenuti, è interessante notare che anche il dispendio di energie e tempo da parte delle parti si riduce sensibilmente, consentendo agli attori di riporre una maggiore attenzione e dispendere maggiori energie su attività ritenute meno operative e più strategiche.

Per concludere, la blockchain, come libro mastro distribuito condiviso, ha il potenziale per mitigare i problemi di trust tra le parti interessate, che a loro volta potrebbero alleviare gli attriti aziendali, migliorare la visibilità delle attività della catena di approvvigionamento, nonché le significative manipolazioni dell'amministrazione umana e cartacea, ottimizzando il flusso di informazioni e generando, in questo modo, una riduzione ottimale dei costi. Con il libro mastro digitale della blockchain, i partecipanti possono godere della tempestività della trasmissione delle informazioni tra entità ed è proprio in tal proposito che le imprese possono ottenere questo vantaggio riducendo i costi della ricerca e della contrattazione: la tecnologia supporta le blockchain per supportare le informazioni peer-to-peer di tracciamento delle spedizioni per fornitori e clienti al fine di migliorare la visibilità della distribuzione fisica della catena di approvvigionamento (Queiroz et al, 2020). Inoltre, i contratti intelligenti contribuiscono a migliorare il livello di automazione facilitando il funzionamento e l'esecuzione dei processi aziendali, garantendo una migliore reattività, una riduzione dei tempi di consegna ed una maggiore visibilità delle operazioni ed azioni svolte lungo tutta la catena. Difatti, sulla base della teoria principale-agente, l'utilizzo degli smart contract può migliorare le interazioni e le relazioni tra i partecipanti alla catena di approvvigionamento, vale a dire i principali e gli agenti in vari settori legati alla catena del valore. Al contempo, tale framework collaborativo, basato

su piattaforme blockchain che si differenziano a seconda delle specifiche necessità aziendali, consente di mitigare i problemi di asimmetria informativa attraverso un migliore controllo dell'esecuzione e della supervisione dei contratti in oggetto (Chang e Chen, 2020).

2.3 BLOCKCHAIN E SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: IL BINOMIO INDISPENSABILE

È stato assunto come, in passato ed attualmente, la mancanza di un meccanismo di tracciabilità sicuro ed affidabile lungo la catena di approvvigionamento volto a controllare che la produzione sia etica ed in linea con la normativa, il rispetto delle sanzioni e, quindi, la sicurezza dei prodotti, rappresenti una sfida tanto economica quanto sociale (Badzar, 2016). Ciò accade perché le aziende detengono una conoscenza limitata circa la provenienza dei componenti o delle materie prime avuto riguardo i beni che producono non potendo né controllare né tanto meno verificare le singole azioni poste in essere da tutti i partecipanti alla supply chain. È proprio in virtù di tale limite che si configurano una serie di necessità in capo alle singole realtà aziendali: limitare le pratiche illegali, raggiungere un ottimale livello di sostenibilità in relazione agli SDGs, migliorare l'efficienza operativa ed il coordinamento dei processi della catena di approvvigionamento. D'altra parte, ad impedire il concretizzarsi di tali risultati, emergono alcune criticità: le capacità dei singoli attori coinvolti circa la possibilità di implementare concretamente la blockchain; il tema della collaborazione, laddove ciascuna entità persegue i propri obiettivi individuali in un contesto di azzardo morale; la maturità tecnologica degli attori coinvolti lungo l'intera catena di approvvigionamento; le pratiche poste in essere da ciascuna impresa che richiedono la standardizzazione delle operazioni per conferire uniformità all'attività; l'individuazione di una leadership chiara e costante; da ultimo, la governance, intendendo – in tale contesto – l'intero apparato giuridico-legislativo con il quale le parti coinvolte si interfacciano.

2.3.1 La risposta alle crescenti esigenze aziendali

Hasting e Sodhi (2020) nel paper 'Blockchain for Supply Chain Traceability: Business Requirements and Critical Success Factors' indagano le motivazione che si celano dietro la necessità di migliorare la tracciabilità e la trasparenza della catena di approvvigionamento. La Figura 12, assumendo i cosiddetti 'business requirements' al vertice della figura, propone sei

diversi temi – a sostegno della propria tesi – ed una serie di sottotemi. Tale analisi consente di giustificare ulteriormente l’implementazione della tecnologia blockchain all’interno del business, sottolineando come potrebbe porre rimedio e valorizzare le diverse esigenze aziendali.

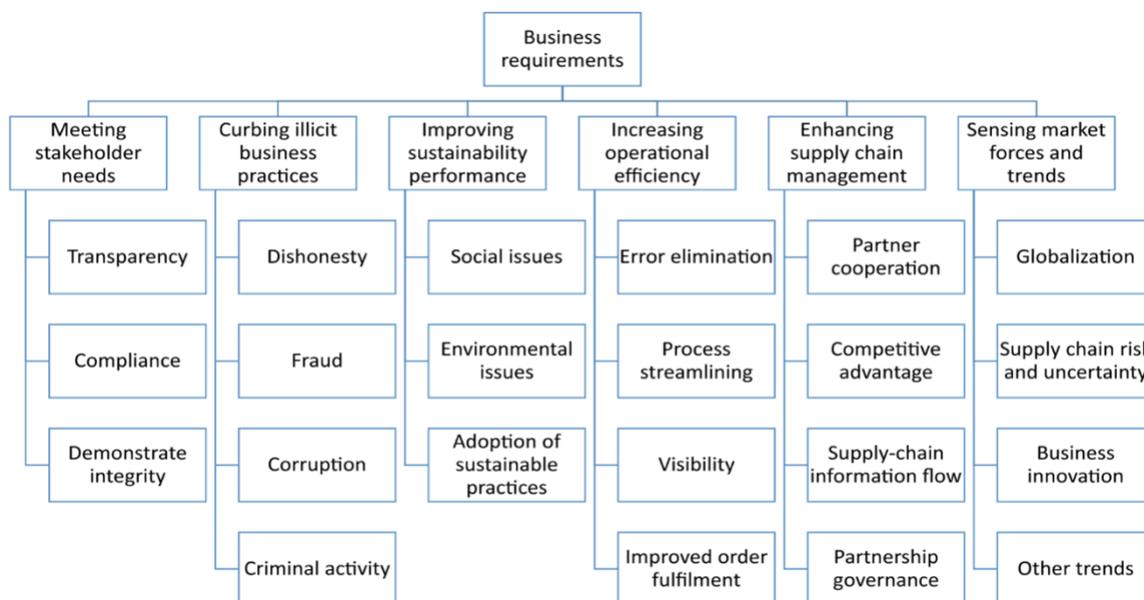


Figura 12. L’implementazione della blockchain come fattore di successo per le crescenti esigenze aziendali (Hasting e Sodhi, 2020)

1. Soddisfare le esigenze delle parti interessate. È ben noto come ciascuna realtà aziendale si interfacci con un elevato numero di stakeholder lungo l’intero processo di approvvigionamento. Ciascuna di queste realtà ha, quindi, l’obbligo di garantire trasparenza – in un contesto di rendicontazione – agli attori coinvolti. Tra questi stakeholders devono intendersi tante figure presenti a monte – i fornitori – quanto figure presenti a valle, quali clienti finali, la comunità e l’ambiente, le istituzioni ed i governi o le ONG (Figura 13). Oltre alla trasparenza, si ritiene essenziale – per la sostenibilità di lungo periodo delle performance aziendali – dimostrare conformità ed integrità.



Figura 13. Stakeholders all'interno delle realtà aziendali

2. Frenare le pratiche commerciali illecite. L'idea di implementare un libro mastro distribuito ed immutabile, in assenza di un figura che accentri il potere, consente di limitare le attività di disonestà, frode e corruzione, così come episodi di attività criminale. Ciascuna azione deve essere approvata – e può essere monitorata – dai restanti attori che prendono parte alla catena di approvvigionamento, motivo per il quale un qualsiasi tentativo di corruzione o di frode sarebbe immediatamente rintracciato e reso impossibile. Un 'centro di controllo' condiviso, permette a tutti gli attori di verificare – e quindi approvare – ciò che viene svolto dagli altri, limitando situazioni di azzardo morale.

3. Migliorare le prestazioni in materia di sostenibilità. La sostenibilità non viene intesa esclusivamente come ambientale: si tratta di un tema che si riassume nel cosiddetto ESG – *environmental, social e governance* – e che presuppone il rispetto di tutte le aree coinvolte. Perché i criteri di sostenibilità possano concretizzarsi è necessario che l'intera filiera – e non solo l'etichetta finale del prodotto (*rischio di greenwashing*) – siano fonte di comportamenti sostenibili. Le aziende devono, e vogliono, essere responsabili della provenienza dei loro prodotti in termini di sostenibilità ambientale e sociale della catena di approvvigionamento all'interno della quale operano. La tecnologia blockchain consente di dimostrare ai propri stakeholders – in maniera chiara, veritiera ed immutabile – l'intero ciclo di vita del prodotto, a partire dal raccolto fino ad arrivare alla sua lavorazione e distribuzione. Tanti le istituzioni ed i governi, quanto i consumatori richiedono una responsabilità crescente alle aziende in termini di sostenibilità: un'etichetta *eco-friendly* non si dimostra più sufficiente, è necessario dimostrare concretamente il proprio impegno, fornendo evidenze e dati.

4. Aumentare l'efficienza operativa. Quando si parla di efficienza operativa si fa specificatamente riferimento all'eliminazione degli errori, la razionalizzazione dei processi, la visibilità della catena di approvvigionamento e la migliore evasione degli ordini. La tracciabilità consentirebbe, quindi, di migliorare l'efficienza della catena di approvvigionamento proprio attraverso la condivisione delle informazioni. La produzione di informazioni frammentate – poiché le figure a monte non possono comunicare direttamente con quelle a valle – rappresenta una delle maggiori criticità che la catena affronta, motivo per il quale la tecnologia blockchain consentirebbe di ovviare tale specifica problematica.

5. Migliorare la gestione della catena di approvvigionamento. L'esperienza di alcune realtà ha consentito di appurare come coordinamento dei partners, vantaggio competitivo, flusso di informazioni e governance delle partnership subiscano un netto miglioramento a seguito dell'implementazione. Difatti, sono numerosi gli attori lungo la supply chain che operano in maniera isolata, rendendo complesso il coordinamento ed il raggiungimento di obiettivi olistici. Come anticipato, nonostante la performance di ciascun attore sia dipendente l'una rispetto all'altra, i partners cercano di massimizzare i propri obiettivi, i quali risultano – molto spesso – in conflitto tra loro, impedendo di massimizzare, invece, l'output finale. Il sistema di tracciabilità basato su blockchain consentirebbe di migliorare il coordinamento della supply chain poiché le informazioni risultano distribuite peer-to-peer in tempo reale utilizzando il meccanismo del consenso, riducendo – inevitabilmente – l'asimmetria informativa, espressione di una delle maggiori criticità presenti nei rapporti di business tra partners. Un aumento del flusso e della qualità delle informazioni consentirebbe – ad esempio – ai fornitori di ottenere una migliore comprensione dei dati della domanda, permettendo loro di stimare meglio i tempi di consegna, di gestire in maniera ottimale l'inventario e lo stock presente in magazzino. D'altra parte, il trasferimento ed il chiarimento della proprietà risulterebbero più semplici da gestire, permettendo ai diversi attori coinvolti di sapere con esattezza a chi rivolgersi qualora sorgesse una problematica oppure la figura su cui potrebbe ricadere la responsabilità di una determinata azione.

6. Rilevamento delle forze e delle tendenze di mercato. All'interno di tale tema vengono ricomprese questioni quali la globalizzazione, il rischio e l'incertezza della supply chain e le innovazioni aziendali. Difatti, la globalizzazione ha portato – negli anni – ad un massivo aumento della concorrenza tra imprese, portando alla luce nuovi modelli di business e nuovi mercati. D'altra parte, l'instabilità politica, i disastri naturali ed il rapido progresso tecnologico hanno significato un'ulteriore complessità da affrontare per le aziende, le quali – al contempo – devono gestire il rischio continuando ad innovare e migliorando continuamente il proprio business con la finalità di garantire la fedeltà e reattività dei propri clienti, salvaguardando così la propria quota di mercato. Proprio in questo senso, la tecnologia blockchain rappresenta uno strumento dall'alto potenziale in termini di maggiore reattività alle nuove tendenze e maggiore resilienza rispetto all'incertezza del mercato, soprattutto considerando che la tempestività e la possibilità di essere considerati *first-mover* è indispensabile per mantenere il proprio vantaggio competitivo.

2.3.2 Fattori critici per il successo

In seconda istanza, con l'obiettivo di fornire una visione quanto più chiara e realistica possibile, vengono evidenziati i temi di cui le aziende devono essere consapevoli – e provvisti – laddove optassero per l'implementazione di tale tecnologia all'interno della propria catena di approvvigionamento (Figura 14).

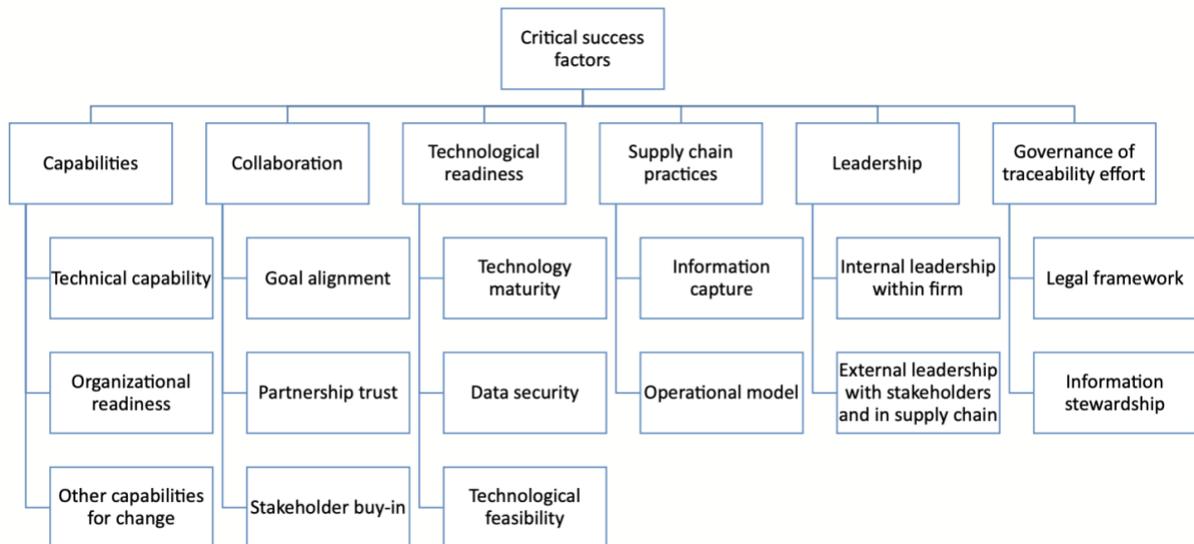


Figura 14. L'implementazione della blockchain come fattore di successo per le crescenti esigenze aziendali (Hasting e Sodhi, 2020)

1. Capacità. Quando si parla di *capabilities* si fa riferimento ad un pattern di elementi di cui l'azienda deve necessariamente essere dotato per raggiungere determinate finalità. Nel caso dell'implementazione della tecnologia blockchain vengono richieste competenze tecniche e, quindi, know-how, ma anche disponibilità di risorse, tanto umane, quanto economiche e materiali.

2. Collaborazione. Un tema ampiamente approfondito e di fondamentale importanza riguarda la collaborazione. La catena di approvvigionamento ricomprende un elevato numero di figure interessanti, motivo per il quale laddove non tutte fossero concordi circa l'adozione e l'implementazione della tecnologia, ciò rappresenterebbe – inevitabilmente – un ostacolo importante. Al di là dell'approvazione generale si evidenziano anche aspetti come l'allineamento degli obiettivi rispetto ai partners e, soprattutto, fiducia rispetto alle collaborazioni poste in essere. Un partner scettico rappresenta una minaccia per l'adozione di soluzioni di tracciabilità lungo tutta la supply chain: in particolar modo, gli attori a monte si rivelano fondamentali – da loro inizia qualsiasi attività di tracciamento – e laddove questi oppongano resistenza, considerando tale implementazione una minaccia al loro vantaggio competitivo –

dovendo condividere informazioni proprietarie con i clienti o concorrenti – l'intero processo di arresta. Basti pensare alla possibilità che uno dei partner conduca attività illegali o non autorizzate lungo la catena di approvvigionamento, si tratterebbe di un motivo abbastanza valido per opporre resistenza all'uso di un sistema basato sulla trasparenza e sulla condivisione di dati ed informazioni.

3. Dotazione tecnologica. È importante interrogarsi quanto possa dimostrarsi pratica l'adozione della tecnologia blockchain per i fornitori remoti come i piccoli agricoltori presenti in aree rurali con accesso e competenze digitali estremamente limitate. Nel momento in cui viene deciso di implementare un'innovazione del genere è, quindi, necessario fornire a tutti gli attori coinvolti gli strumenti idonei per poterlo fare, tanto nell'interesse dell'intera catena di approvvigionamento, quanto nell'interesse dei singoli soggetti.
4. Pratiche della supply chain. Comprendere quali pratiche adottare ed operarne una standardizzazione risulta estremamente complesso, poiché richiede ad entità differenti, ciascuna proprietaria delle proprie decisioni e della modalità con cui le attività vengono svolte, di delegare parte di questo potere. La standardizzazione richiede risorse e collaborazione e, soprattutto, attività di controllo che certifichino l'omogeneità delle operazioni.
5. Leadership. Identificare attori trainanti, capaci di gestire la complessità e l'articolazione di una tale tecnologia si dimostra indispensabile. Basti pensare al caso della dotazione tecnologia: la presenza di un leader che si preoccupi di fornire a tutti gli interessati la risorse idonee ed il know-how necessario, è indispensabile. Ad esempio, il settore agroalimentare è stato al centro dell'adozione della blockchain per la catena di approvvigionamento e della ricerca correlata in parte a causa della leadership di giganti della vendita al dettaglio come Carrefour e Wal-Mart.

6. Governance: sistema giuridico-legislativo. Quando si parla di governance si fa riferimento alla necessità di operare all'interno del quadro giuridico e di riuscire a rispettare ottimamente la gestione delle informazioni. Trattandosi di catene di approvvigionamento oramai divenute globali, è necessario che la tecnologia blockchain – così come qualsiasi altra tipologia di tecnologia – aderisca a leggi, regolamenti e giurisdizioni differenti tra loro. Basti pensare al tema della standardizzazione: non può operarsi un'omogenizzazione delle attività laddove un processo non sia ritenuto legittimo in un paese, mentre legittimo in un altro. Basti pensare le diverse leggi in materia di dati o privacy, oppure le regole commerciali che differenziano ciascun paese. Proprio per questo motivo si ritiene indispensabile porre in essere ed adottare nuovi regolamenti, i quali si dimostrino compatibili rispetto alla complessità crescente di tali pratiche.

Tale panoramica consente di affermare come, l'implementazione della tecnologia blockchain celi una serie di vantaggi ed innovazioni sorprendenti, a partire dalla possibilità di configurare un flusso di informazioni migliorato e, quindi, maggiore qualità alle operazioni ed attività svolte lungo l'intera supply chain. D'altra parte, la trasparenza e l'affidabilità delle imprese sono, oggi, messe a dura prova da parte degli stakeholders, motivo per il quale l'utilizzo di tale tecnologia potrebbe dimostrarsi uno strumento estremamente efficace. Ciononostante, non tutte le realtà sono ancora pronte – o incentivate – a concretizzare la sua implementazione: i requisiti necessari al suo corretto funzionamento si dimostrano numerosi ed affatto scontati. È interessante sottolineare che secondo Mougayar (2015) l'80% dello sforzo di implementazione della blockchain riguarda i cambiamenti dei processi aziendali e la capacità delle imprese di attuarli efficacemente e, solo il 20% – contrariamente a qualsiasi ipotesi generale – dello sforzo sarebbe dovuto all'implementazione della tecnologia stessa, intesa come risorse economiche e digitali.

CAPITOLO TERZO

LA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN E LA FILIERA ALIMENTARE: IL CASO TRUSTY

Per la stesura del seguente capitolo si è fatto riferimento ad una serie eterogenea di fonti: a partire dalle fonti di natura accademica ed istituzionale che descrivono il case study in oggetto, passando per una presentazione svolta dal CEO di Apio, Alessandro Chelli, in sede universitaria il 29 marzo 2023 con la cattedra di Economia per il management e, da ultimo, un'intervista singola svolta dalla sottoscritta sempre con il dottor Alessandro Chelli, conseguentemente alla presentazione del 29 marzo.

Nell'investigare le modalità di implementazione della blockchain si è dimostrato di fondamentale importanza, nonché espressione di forte innovazione e necessità, il suo utilizzo lungo i processi della supply chain management. Tracciabilità e trasparenza, collaborazione tra le parti interessate ed efficientamento dell'intera catena di approvvigionamento, risultano essere solo alcuni dei vantaggi che le aziende potrebbero trarre per tramite dell'implementazione della tecnologia blockchain. Il seguente capitolo persegue, quindi, l'obiettivo di investigare, dopo aver ampiamente introdotto la tecnologia in oggetto ed aver compreso i vantaggi del suo utilizzo lungo la supply chain, l'implementazione della stessa lungo la filiera alimentare, integrando le considerazioni poste in essere ad una reale esperienza: la start up Apio e l'innovativa Trusty, software – basato sulla tecnologia blockchain – che consente di condividere informazioni in modo sicuro, incrementando la fiducia del consumatore e migliorando i rapporti con i fornitori. Come si analizzerà nel corso del capitolo, l'implementazione di Trusty consente alle aziende di dar vita ad una filiera completamente trasparente: dal raccolto alla tavola, la tecnologia consente di tenere traccia – in maniera irreversibile – delle attività poste in essere da ciascun singolo attore che prenda parte ad una data catena di approvvigionamento, coinvolgendo anche il consumatore. La trasparenza – riporta il sito ufficiale (Trusty, Official Website) – diventa, con Trusty, una responsabilità condivisa.

3.1 FOOD VALUE CHAIN: LA BLOCKCHAIN NELL'AGROALIMENTARE

La filiera agroalimentare rappresenta un sistema complesso ed integrato che, al pari di tutte le catene di approvvigionamento, coinvolge numerosi attori, a partire dalle aziende agricole fino ad arrivare ai produttori alimentari, tenendo in considerazione anche i cosiddetti trasformatori, i distributori ed i consumatori finali. Per quanto rappresenti un comparto strategico per l'economia mondiale, tale filiera presenta ancora una serie di criticità: in particolare, la scarsa sostenibilità ambientale e la difficoltà nel garantire la sicurezza alimentare. È proprio alla luce di tali difficoltà che la tecnologia blockchain – grazie alle sue caratteristiche e peculiarità – ha rappresentato una possibilità per l'intero settore: una delle sfide principali di tale filiera è data dalla necessità di garantire la sostenibilità ambientale, in particolar modo alla luce delle linee guida poste a livello internazionale. In 'Sustainable food systems: concept and framework' un brief pubblicato dalla FAO (Food and Agriculture Organization) nel 2018 viene – letteralmente – riportato come 'la sostenibilità ambientale della produzione alimentare è essenziale per garantire la sicurezza alimentare e nutrizionale delle popolazione del mondo, la salute degli ecosistemi e la sopravvivenza dell'agricoltura a lungo termine'. D'altra parte, la sostenibilità ambientale rappresenta anche un'opportunità per l'innovazione nella filiera agroalimentare, attraverso l'adozione di pratiche agricole e di produzione ritenute maggiormente efficienti, ma a più basso impatto ambientale. Il dibattito sulla sostenibilità ambientale si è fatto sempre più intenso negli ultimi decenni, ed ha subito un'accelerazione incisiva a partire dal 2015, anno della diffusione dei cosiddetti Sustainable Development Goals (SDGs) da parte delle Nazioni Unite. Tali obiettivi – se ne annoverano 17 principalmente, e conseguentemente seguono numerosi target specifici – hanno ad oggetto il benessere mondiale, da quello ambientale a quello sociale. Sconfiggere la povertà (SDG 1), combattere la fame (SDG 2), consumare e produrre in maniera responsabile (SDG 12) o vita sulla terra (SDG 15), sono solo alcuni degli obiettivi che contribuiscono a scelte più sostenibili in termini di filiera agroalimentare. In particolar modo, l'obiettivo numero 12 'consumo e produzione responsabili' riassume una delle necessità più impellenti avuto riguardo tale catena di approvvigionamento. Come anticipato, un'ulteriore criticità della filiera agroalimentare riguarda la sicurezza alimentare, laddove perché sia garantita è indispensabile che le aziende – coinvolte lungo l'intera filiera – ricorrano a rigorose misure di controllo. Perché tali misure possano portare ai risultati sperati, è

indispensabile che tutti gli attori coinvolti dimostrino la propria capacità di collaborazione, perseguendo l'obiettivo di affrontare le sfide del presente e del futuro, promuovendo un'agricoltura ed una produzione alimentare sicura e di massima qualità. Oltretutto, crescente è l'attenzione dei consumatori alla qualità ed alla provenienza dei prodotti alimentari, motivo per il quale – ad oggi – il vantaggio competitivo delle singole imprese può essere mantenuto esclusivamente alla luce di un concerto di sforzi maggiore.

Avuto specifico riguardo la food value chain, questa risulta essere espressione di un modello concettuale che rappresenta le diverse fasi ed attori che partecipano alla produzione, trasformazione, distribuzione e commercializzazione dei prodotti alimentari. Il modello della food value chain si concentra sulla creazione di valore lungo tutta la filiera, dall'agricoltore al consumatore finale e si compone di quattro fasi principali:

1. Produzione.

In questa fase, gli agricoltori coltivano i prodotti che saranno successivamente trasformati in prodotti alimentari. Questa fase include anche la raccolta, il trasporto e la conservazione delle materie prime.

2. Trasformazione.

In questa fase, le materie prime vengono trasformate in prodotti alimentari, attraverso processi di lavorazione, confezionamento e conservazione.

3. Distribuzione.

In questa fase, i prodotti alimentari vengono trasportati e distribuiti lungo la filiera, dal produttore al consumatore finale, attraverso diverse modalità di trasporto e canali di distribuzione.

4. Commercializzazione.

In questa fase, i prodotti alimentari vengono presentati e venduti ai consumatori finali attraverso diverse modalità di vendita, come i supermercati, i mercati locali, i ristoranti, etc.

Nel corso di tale testo si è affermato come la tecnologia blockchain potrebbe rappresentare una soluzione trasformativa per le imprese agendo sulla loro catena di approvvigionamento. Difatti, blockchain è espressione di un sistema decentralizzato che non richiede – per sua conformazione e natura – l'intervento di terzi, rendendo le informazioni disponibili ad un pubblico di utenti (trasparenza) e garantendo – al contempo – integrità ed immutabilità dei dati processati e, quindi, capace di monitorare transazioni e prodotti dalla fonte al consumatore finale (Compagnucci et al, 2022). Proprio in virtù del suo potenziale per la tracciabilità, si assume che la blockchain possa incrementare il valore delle catene agroalimentari, incoraggiando la prevenzione delle frodi, garantendo il rispetto delle normative e, da ultimo, migliorando la qualità delle informazioni. In particolar modo, la tecnologia in oggetto sarebbe capace di aiutare a stabilire un rapporto di fiducia tra produttori e consumatori, permettendo a questi ultimi di prendere decisioni maggiormente informate sui prodotti che acquistano e, quindi, sulle aziende da sostenere (Vern et al, 2022). La necessità circa l'implementazione della tecnologia blockchain alla filiera agroalimentare nasce, quindi, a seguito della crescente complessità che, negli ultimi decenni, ha iniziato a contraddistinguerla: tale complessità ha, infatti, radicalmente ampliato la distanza che intercorreva – originariamente – tra consumatori e produttori. D'altra parte, numerosi si sono dimostrati gli scandali alimentari che hanno incrementato la sfiducia dei consumatori e, di conseguenza, la reputazione delle aziende che prendono parte a tale filiera. Come già sottolineato, i consumatori sono diventati sempre più diffidenti e chiedono maggiori informazioni circa la sicurezza alimentare, la sostenibilità e l'origine dei prodotti acquistati e consumati. Quest'ultima si è rivelata essere, nel corso degli anni, una delle informazioni più importanti da rintracciare, non solo in termini di salute alimentare, ma anche di rispetto delle normative e di diritti dei lavoratori. Tutto ciò fa sì che, perché le aziende agroalimentari riescano ad incrementare il flusso e la soddisfazione dei propri consumatori, sia necessario investire in strumenti che permettano di raggiungere l'obiettivo soprastante: dare vita ad una filiera trasparente. Ad oggi, infatti, la maggior parte delle catene di approvvigionamento agroalimentari risultano ancora prive di strumenti atti alla tracciabilità delle risorse, così come risultano essere poco digitalizzate: difatti, la maggior parte dei sistemi di tracciabilità esistenti si dimostrano centralizzati ed obsoleti – in termini di condivisione dei dati – incrementando il rischio di frodi, corruzione ed errori. Nonostante sussistano una serie di

sistemi di tracciabilità, la loro centralizzazione ne determina la facile manipolazione, incrementando sensibilmente il rischio in termini di sicurezza alimentare e corretta implementazione delle pratiche di sostenibilità ambientale (Compagnucci et al, 2022). Tra i principali vantaggi che le aziende trarrebbero dall'utilizzo di tale tecnologia – definita dirompente – si configurerebbe sicuramente la possibilità di migliorare – al vertice – la qualità delle informazioni memorizzate, consentendo a tutte le parti di essere opportunamente informate ed aggiornate in tempo reale, potendo contare sulla lettura di dati trasparenti, affidabili e verificabili. Non solo il consumatore diventerebbe il destinatario di tale innovazione, ma le stesse aziende potrebbero migliorare i loro rapporti con le autorità di vigilanza, così come gli stessi rapporti che legano i diversi attori che prendono parte alla supply chain in oggetto. Compagnucci et al (2022) hanno dimostrato – attraverso uno studio sperimentale che ha coinvolto il tema dell'implementazione della tecnologia blockchain nella supply chain management agroalimentare – come, mediante la tecnologia in oggetto la tracciabilità della filiera sia capace di fornire un quadro affidabile per tracciare i dati sulla sicurezza e l'origine alimentare e le normative di protocollo tra i vari distributori, trasformatori e rivenditori. D'altra parte, la condivisione di un libro mastro pubblico di transazioni immutabili consente agli attori coinvolti di tenere traccia delle transazioni in maniera irreversibile, senza necessità di una centralizzazione dell'attività. Gli autori riportano come, i casi di implementazione siano stati capaci di dimostrare che l'adozione di tale tecnologia non solo abbia permesso di migliorare i processi e le decisioni aziendali, ma ha anche interrotto la catena di approvvigionamento tradizionale, portando ad una distribuzione più equa del potere contrattuale tra gli attori della filiera e richiedendo loro un tasso di collaborazione incrementale. Anche il lato della collaborazione tra le parti ha saputo dare risultati ottimali, migliorando i rapporti ed efficientando l'intero sistema. Da ultimo, è stato rilevato che, lato consumatori, la blockchain ha permesso di divulgare informazioni aggiuntive ai clienti sui prodotti e sui processi, potendo registrare un positivo riscontro da parte di questi ultimi e, quindi, un maggior incentivo all'acquisto di prodotti appartenenti a determinati brand, capaci di fornire le suddette informazioni.

3.2 IMPLEMENTAZIONE DELLA BLOCKCHAIN ALLA FILIERA AGROALIMENTARE

È stato rilevato come, all'interno del settore agroalimentare la tecnologia abbia già un'ampia applicazione lungo la catena del valore. Tra quelle più diffuse si annoverano big-data ed advanced analytics, robotica, sofisticate previsioni meteo locali, tecnologia cloud etc. Ma tra le tecnologie di maggiore importanza all'interno del campo alimentare, come già ampiamente riportato, quella che consente la tracciabilità alimentare è sicuramente ritenuta, oramai, indispensabile per le aziende attive nel settore. Ruzza et al (2022) affermano che tali tecnologie si dimostrano capaci di creare visibilità e tracciabilità lungo l'intera catena del valore, garantendo un approvvigionamento sostenibile, un aumento del reddito per gli agricoltori, una riduzione delle frodi alimentari e, soprattutto, una riduzione degli sprechi. Ovviamente in tale contesto, è proprio la blockchain a dimostrarsi la tecnologia più adatta alla tracciabilità degli alimenti: quest'ultima incrementa la trasparenza creando una registrazione immutabile della vita dei prodotti, dal raccolto alla tavola. Tra i passaggi più importanti del processo di tracciamento si annovera l'inserimento dei dati nella blockchain, proprio perché rappresenta l'aspetto che, con maggiore facilità, può essere manomesso. Proprio per questo motivo, tale fase – la più delicata – prevede l'implementazione di diverse strategie, quali l'uso di sensori Internet of Things, sensori GPS oppure i cosiddetti oracoli, ovvero intermediari fidati che collegano il mondo reale alla blockchain, permettendogli di acquisire informazioni e caricarle autonomamente all'interno della piattaforma. Tale fase può differenziarsi da situazione a situazione, prevedendo tanto l'inserimento diretto dei dati sulla blockchain, così come l'utilizzo di database esterni, oppure la registrazione unica dell'hash. Da ultimo, i dati possono essere comunicati ai consumatori in maniera distinta, laddove nella maggior parte dei casi viene configurato un codice QR oppure un sensore NFC (Ruzza et al, 2022).

I presupposti all'introduzione della tecnologia si dimostrano solidi, così come la necessità delle imprese stesse di implementare tali cambiamenti, ciononostante le difficoltà – in particolar modo per le piccole e medie imprese – sembrano ostacolarne l'evoluzione in tal senso. Eppure, il settore agroalimentare è stato valutato circa 8 trilioni di dollari all'anno, rappresenta il 10% della spesa totale dei consumatori ed impiega il 40% della forza lavoro mondiale (Ruzza et al, 2022). In termini numerici, è stato rilevato come la crescita della popolazione porterà il

fabbisogno calorico a crescere del 70% entro il 2050, mentre lo spreco alimentare raggiungerà circa 1,6 trilioni di tonnellate all'anno ed il cambiamento climatico e la sostenibilità ambientale diventeranno temi sempre più complessi (Ruzza et al, 2022). Le abitudini di consumo, infatti, si sono – negli ultimi anni – spostate verso prodotti più sani e rispettosi dell'ambiente, laddove il 52% dei consumatori afferma che essere informati circa la provenienza degli alimenti sia, oramai, indispensabile; mentre, il 63% degli americani avrebbe dichiarato che pagherebbe fino al 36% in più per prodotti realizzati in modo responsabile e di provenienza trasparente; da ultimo, il 94% dei consumatori intervistati da IBM Food Trust, ha affermato che sarebbe maggiormente fedele ad un marchio capace di offrire assoluta trasparenza, dal raccolto alla tavola (IBM Supply Chain Intelligence Suite: Food Trust).

3.3 IBM SUPPLY CHAIN INTELLIGENCE SUITE: FOOD TRUST

IBM rappresenta, nell'ambito dell'utilizzo della blockchain nel settore agroalimentare un precursore di fondamentale importanza, nonché un attore ritenuto essenziale avuto riguardo lo sviluppo di Trusty, di cui si tratterà di seguito. IBM, acronimo di International Business Machines Corporation è un'azienda americana il cui core business si sostanzia nell'ambito tecnologico con sede ad Armonk, New York; viene fondata nel 1911 e, nel corso degli anni, ha rappresentato un punto di riferimento avuto riguardo l'offerta di servizi tecnologici, tra cui cloud computing, intelligenza artificiale, sicurezza informatica, analisi dei dati, blockchain e molto altro. Si è, quindi, saputa distinguere per la sua capacità di apportare importanti innovazioni tecnologiche, tra cui il primo personal computer IBM PC. Proprio alla luce della sua capacità di dar vita ad innovazioni dirompenti, IBM non poteva esimersi dell'onere di sviluppare una delle prime piattaforme blockchain per il settore agroalimentare (Agarwal et al, 2022). La piattaforma IBM Food Trust è stata lanciata nel 2018 ed adottata, nel corso degli anni, da diverse aziende alimentari, leader del settore: Walmart, Nestlé, Tyson Foods, Carrefour e Dole Food Company (Li et al, 2021). Tale innovazione consente ai partecipanti della filiera alimentare, quali produttori, distributori, rivenditori e consumatori di accedere ad informazioni trasparenti e sicure avuto riguardo la filiera alimentare, le quali vengono permanentemente registrate sulla cosiddetta catena di blocchi. IBM Food Trust (Official Website) è, quindi, una piattaforma basata sulla tecnologia blockchain, la quale mira a migliorare la sicurezza e la

trasparenza della filiera alimentare globale: tale piattaforma utilizza, nello specifico, la tecnologia Hyperledger Fabric, espressione di una blockchain autorizzata, volta a gestire e condividere informazioni circa la provenienza, la qualità e la tracciabilità dei prodotti alimentari, ma anche capace di garantire la sicurezza dei dati e la conformità alle normative sulla privacy, temi di fondamentale importanza ai giorni odierni (Figura 15).

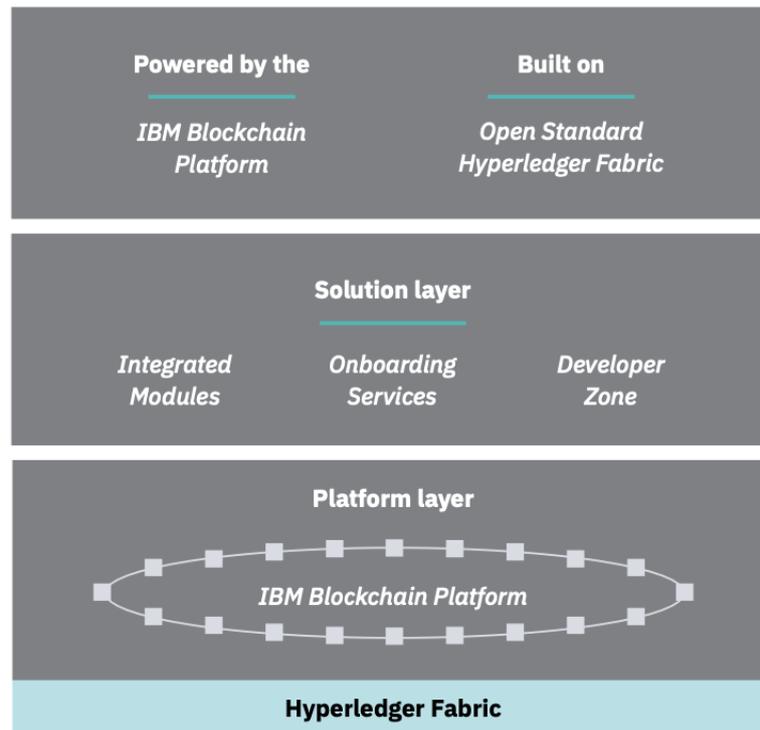


Figura 15. La tecnologia Hyperledger Fabric

Fonte: IBM Food Trust, Official Website

Lo scopo ultimo di IBM è stato quello di fornire ai propri utenti una piattaforma capace di registrare informazioni sulla filiera alimentare, come la provenienza degli ingredienti, le condizioni di trasporto e di stoccaggio, i test di qualità o di sicurezza (Alobid et al, 2022). Queste informazioni vengono memorizzate in modo permanente sulla blockchain, consentendo a tutti gli attori coinvolti lungo la supply chain di riferimento di accedere ad informazioni aggiornate, verificandole in modo indipendente. Un'ulteriore particolarità, capace di rendere dirompente tale innovazione, si dimostra la capacità di IBM Food Trust di utilizzare l'intelligenza artificiale per analizzare i dati sulla filiera alimentare, fornendo informazioni dettagliate sulle prestazioni della catena di approvvigionamento stessa: il tempo di consegna, i

costi o la qualità dei prodotti sono solo alcune delle informazioni che è possibile reperire. Come anticipato, numerosi sono stati i leader del settore alimentare ad implementare IBM Food Trust: ad esempio, Walmart ha utilizzato tale piattaforma per tracciare la provenienza della carne bovina venduta nei suoi negozi in Cina, riducendo così il tempo necessario per verificare la filiera dalla settimana a pochi secondi; Nestlé, d'altra parte, ha utilizzato la piattaforma per tracciare la provenienza del caffè utilizzato nei suoi prodotti, migliorando la sostenibilità della sua filiera; mentre Tyson Foods ha utilizzato IBM Food Trust per tracciare la provenienza del pollo venduto nei suoi negozi in America del Nord, aumentando così la trasparenza per i consumatori e riducendo i rischi per la salute pubblica (Agarwal et al, 2022). Di fondamentale importanza, in termini di interazione con il consumatore finale, la piattaforma consente a questi ultimi di accedere alle informazioni contenute sulla blockchain attraverso un'applicazione mobile ^[34] : per tramite un codice QR dedicato è possibile seguire l'intera evoluzione – passaggio dopo passaggio – della catena di approvvigionamento, migliorando la trasparenza e la fiducia dei consumatori che, adeguatamente informati, si dimostreranno anche maggiormente propensi ad acquistare prodotti sani e certificati.

Oltre alla registrazione delle informazioni sulla filiera alimentare e all'analisi dei dati con l'intelligenza artificiale, IBM Food Trust offre anche la possibilità di dar vita a contratti intelligenti (smart contract) per automatizzare i processi e semplificare la gestione della filiera alimentare. Difatti, la piattaforma si avvale di una crittografia avanzata per proteggere i dati della catena di approvvigionamento, con la finalità di prevenire frodi alimentari, oramai estremamente diffuse. Oltretutto, IBM Food Trust si dimostra in linea e conforme con le normative vigenti in materia di sicurezza alimentare, quale la Food Safety Modernization Act (FSMA) degli Stati Uniti (Alobid et al, 2022). Le recenti implementazioni hanno consentito, da ultimo, di trarre una serie di conclusioni avuto riguardo l'utilizzo della tecnologia blockchain lungo l'intera filiera agroalimentare: la piattaforma ha riscontrato un positivo impatto circa la

³⁴ Si tratta di una funzionalità implementata da IBM Food Trust a seguito della collaborazione nata, sempre nel 2018, con Apio. Difatti, l'azienda prevedeva esclusivamente tool dedicati alle aziende in termini di tracciabilità, mentre non aveva in alcun modo maturato un sistema per comunicare al consumatore (marketing) la qualità del prodotto e la sua provenienza. È proprio in tale occasione che nasce la partnership tra IBM ed Apio, la quale darà – poi – vita a Trusty.

sicurezza alimentare e la sostenibilità della filiera stessa, aiutando le imprese a migliorare la qualità dei loro prodotti, prevenendo frodi e riducendo i rischi legati alla salute dei consumatori. I vantaggi non sono stati registrati esclusivamente lato domanda: anche le aziende che abbiano deciso di sperimentare tale piattaforma hanno riscontrato notevoli miglioramenti in termini di riduzione dei costi e del tempo necessario per la verifica della filiera, potendo – contemporaneamente – riuscire a fornire dettagli sulla storia completa e la posizione attuale di qualsiasi alimento in pochi secondi.

In un report pubblicato nel 2020 ‘About IBM Food Trust’ (IBM Food Trust Official Website), l’azienda fornisce una descrizione dettagliata della piattaforma: *“Food Trust offre alle organizzazioni una serie di moduli integrati, volti ad affrontare la crescente complessità e creare fiducia nel settore”*. Tra le principali peculiarità si annoverano:

1. Efficienza della catena di approvvigionamento.

Tale piattaforma consente alle aziende di operare processi più intelligenti all’interno di un sistema alimentare condiviso, identificando le inefficienze dei processi, sfruttando i dati per la previsione della domanda, scalando con l’automazione ed ottimizzando le loro attività per una crescita continua;

2. Storia del marchio.

IBM Food Trust persegue l’obiettivo di valorizzare la storia del brand, grazie alla possibilità di dare ai consumatori, ai produttori, ai trasformatori ed ai fornitori fiducia nelle aziende da cui acquistano o consumano gli alimenti;

3. Freschezza degli alimenti.

Le aziende possono ottenere una visibilità senza precedenti circa i dati della catena di approvvigionamento, collezionando informazioni ed analisi preziose, potendo identificare le inefficienze e garantendo la qualità dei prodotti che saranno venduti;

4. Sicurezza alimentare.

Configurare un sistema di tracciabilità sicura dei prodotti consente di ridurre gli sprechi, la contaminazione incrociata e la diffusione di malattie alimentare, così come la possibilità di rintracciare lotti che possano rappresentare un pericolo per i consumatori;

5. Frodi alimentari

La piattaforma consente di raggiungere una la piena trasparenza attraverso la digitalizzando dei registri delle transazioni, memorizzando i dati in modo decentralizzato ed immutabile, scongiurando – quindi – la possibilità di frodi in tutto il sistema alimentare;

6. Riduzione degli sprechi.

Condividendo e gestendo i dati lungo l'intera filiera alimentare, è possibile incrementare l'efficienza, riducendo le perdite di prodotto e, quindi, ottimizzando l'intero funzionamento dell'ecosistema;

7. Sostenibilità.

Attraverso la digitalizzazione dei certificati e dei documenti essenziali, si dimostra possibile ottimizzare la gestione delle informazioni, dimostrandone la provenienza e garantendone l'autenticità.

Per il raggiungimento di tali obiettivi e l'ottimale funzionamento della piattaforma, la soluzione Food Trust consente agli utenti di inserire e controllare l'accesso ai propri dati crittografati sulla blockchain: in questo modo le singole aziende, parte di una determinata catena di approvvigionamento, possono accedere esclusivamente ai dati che sono autorizzati a visualizzare, consentendo così all'organizzazione proprietaria di avere il controllo su coloro che possono, e coloro che non possono, accedere a determinati dati. Attraverso l'utilizzo della piattaforma, ciascun attore può – in qualsiasi momento ed in tempo reale – risalire al percorso di un singolo prodotto alimentare: interrogando gli identificatori alimentari, con il Global Trade Item Number (GTIN) o l'Universal Product Code (UPC), la tracciabilità si dimostra estremamente semplificata. Naturalmente, tutti i dati memorizzati su registri blockchain,

risultano protetti con il più alto livello di crittografia disponibile, scongiurando il rischio di hackeraggio o manomissione.

La conformazione della piattaforma, un insieme aggregato di moduli, risponde ad una serie di punti dolenti ed esigenze primarie dell'industria alimentare. Due sono i moduli fondamentali che il report evidenzia: *trace* e *documents*. Per quanto concerne il modulo '*trace*' la piattaforma riconosce la possibilità alle aziende di fornire informazioni circa la provenienza dei numerosi prodotti alimentari, consentendo l'accesso immediato ai dati end-to-end. Tale funzionalità consente anche di mostrare, agli interessati, la posizione e lo stato in tempo reale della merce, permettendo un'accelerazione in termini di ritiro del prodotto. In seconda istanza, il modulo '*documents*' consentirebbe di caricare, gestire, modificare e condividere qualsiasi tipo di documento lungo l'intera catena di approvvigionamento. L'obiettivo è quello di ottimizzare l'efficienza nella gestione delle informazioni, certificando la provenienza e garantendo l'autenticità.

Di fondamentale importanza, al netto dell'approccio modulare, si dimostrano anche le peculiarità acquisite per tramite dell'implementazione della blockchain. Se l'obiettivo è dar vita ad un ambiente fidato ed autorizzato per le transazioni alimentari, dove tutti i partecipanti possono collaborare in modo sicuro e mirato incrementando il proprio vantaggio competitivo, è necessario che una serie di componenti siano presenti. Una soluzione blockchain aperta e basata su cloud include:

1. APIs.

IBM Food Trust sta sviluppando una ricca serie di APIs con l'obiettivo di approfondire l'ecosistema ed accrescerne il valore per i propri partner ed utenti. Quando si parla di APIs si fa specifico riferimento ad una versione programmatica dei diversi moduli Food Trust, i quali risultano basati sull'interfaccia utente, di modo tale che i dati affidabili possono essere utilizzati in un ambiente sviluppato autonomamente. Ma la funzionalità delle APIs non si esaurisce: queste ultime possono essere utilizzate per l'integrazione delle terze parti, come il monitoraggio dell'inventario, le applicazioni per i consumatori, le applicazioni per la gestione della catena di

approvvigionamento, oppure il monitoraggio della temperatura o le applicazioni dei gruppi industriali;

2. Ancora di fiducia.

Quando si fa riferimento alle ancore di fiducia si tratta di tutti i partecipanti alla rete Food Trust – come rivenditori e fornitori di prodotti alimentari – che sono collettivamente responsabili del mantenimento dell'integrità del libro mastro condiviso e dell'esistenza della piattaforma;

3. Contratti intelligenti.

Qualsiasi azienda che prenda parte alla piattaforma IBM Food Trust può decidere di installare un peer e di stanziare uno smart contract in un canale privato che coinvolga due o più membri specifici della rete, con la finalità di automatizzare il processo decisionale della catena di approvvigionamento. Come è già stato possibile approfondire, i contratti intelligenti utilizzano regole di business predefinite e termini concordati anticipatamente tra i partner della transazione, riducendo le risoluzioni di controversie estranee, potendosi basare su dati affidabili ed immutabili. Perché tale asset possa funzionare correttamente, è necessario che, nell'esecuzione dello smart contract, ogni parte coinvolta abbia il proprio peer, facendo sì che solo le parti interessate a mantenere in essere il contratto abbiano accesso al canale privato dedicato.

Comprendere il funzionamento di IBM Food Trust rappresenta un primo passo per comprendere il caso studio riportato: Trusty. Difatti, quest'ultimo nasce proprio dalla collaborazione tra Apio ed IBM, facendo sì che la piattaforma sviluppata si strutturi in maniera fondamentalmente simile rispetto al caso sopra analizzato.

3.4 APIO E TRUSTY: UN CASO ESEMPLARE

Apio è un Ventur Builder, una società che si focalizza sulla produzione di nuove piattaforme Software as a Service ed alla sua scalabilità per tramite di partnership industriali (Ruzza et al, 2022). La start up viene fondata nel 2014 con l'obiettivo di aiutare le grandi aziende – così come le PMI – a creare nuovi prodotti e servizi attraverso la trasformazione digitale. In

sostanza, il core business di Apio è rappresentato dalle tecnologie di connettività, trasmissione ed analisi dei dati, combinando competenze specifiche come cloud computing, sviluppo web, integrazione sistemi, sviluppo embedded e progettazione hardware. Tra i programmi di rilievo che l'hanno vista coinvolta, nel 2017, Apio – insieme ad Acea, Indra, Cisco ed Enea – ha realizzato il primo progetto italiano con tecnologia blockchain ed Internet of Things nel mercato dell'energia: la società ha sviluppato una soluzione innovativa per la marcatura temporale dei dati energetici. Conseguentemente, alla fine del 2018, in virtù del know-how acquisito e dei risultati raggiunti, Apio è diventata la prima Trusted Partner di IBM Food Trust al mondo, grazie alla sua capacità di integrare la soluzione IBM con i software Track & Trace, ottimizzando notevolmente il processo di tracciabilità. Apio si è, dunque, occupata dello sviluppo di microservizi GS1 EPICS Events, laddove EPICS (Electronic Product Code Information Services) è espressione di uno standard mondiale sviluppato da GS1 che consente la creazione e la condivisione di dati circa gli eventi di visibilità, tanto all'interno quanto all'esterno della stessa azienda, o di aziende diverse. Tale funzionalità ha consentito di integrare le funzionalità di IBM Food Trust, identificando l'origine ed il luogo di produzione di un determinato prodotto grazie al Global Location Number (GLN) (Ruzza et al, 2022). Da ultimo, Apio ha rappresentato un partner dal valore inestimabile per IBM, laddove la società ha sviluppato – sanando una lacuna di business propria di IBM – tutta l'area legata al marketing della piattaforma, dando la possibilità alle imprese non solo di utilizzare un servizio atto alla tracciabilità delle proprie risorse, ma di comunicare – in maniera semplice ed intuitiva – gli sforzi posti in essere direttamente al consumatore. Attraverso la scannerizzazione di un codice QR presente sul packaging del prodotto interessato, qualsiasi soggetto – consumatori o partners – avrebbero potuto facilmente accedere al percorso seguito dall'azienda, a partire dal raccolto fino ad arrivare alla tavola, rendendo – a tutti gli effetti – la trasparenza una responsabilità condivisa.

A seguito della collaborazione con IBM Food Trust che ha – quindi – visto Apio protagonista, la società ha deciso di sviluppare una linea di business espressamente dedicata alle piccole e medie imprese attive nel settore agroalimentare, includendo al servizio di marketing, anche quello di tracciabilità. Nasce – così – Trusty, una piattaforma Software as Service volta a

migliorare il coinvolgimento dei clienti, consentendo di sviluppare – in particolar modo – la brand equity aziendale. Al di là di ciò, tale servizio può essere utilizzato da qualsiasi attore – che prenda parte ad una determinata catena di approvvigionamento – per autenticare informazioni come ordini di acquisto o avvisi di spedizione. Ma aiuta – al contempo – queste piccole realtà a migliorare l’esperienza dei loro consumatori per tramite della divulgazione completa circa la provenienza del prodotto o gli ingredienti di cui si compone, semplicemente scannerizzando un codice QR per poter visionare l’intera catena di approvvigionamento. La blockchain viene, quindi, implementata per verificare e proteggere tutte le informazioni che riguardano il prodotto: oltretutto, a differenza delle altre piattaforme di tracciabilità, Trusty consente ai produttori alimentari di caricare descrizioni, immagini e video di strutture o prodotti aziendali, con la finalità di supportare ulteriormente la quantità di informazioni a disposizione del consumatore. Difatti, a seguito della scansione del QR code presente sulla confezione, il consumatore ha la possibilità di accedere alla pagina web aziendale, leggere le descrizioni relative alla supply chain e le caratteristiche del prodotto: quali allergeni, certificazioni di prodotto oppure aggiornamenti relativi alla catena del valore.



Figura 16. Piattaforma di tracciabilità end-to-end per l'industria alimentare

Fonte: Presentazione Trusty, Apio (2023)

Trusty, quindi, vende alle aziende alimentari una piattaforma di gestione della catena di fornitura e della tracciabilità end-to-end in grado di migliorare le relazioni tra gli attori della catena di fornitura e di condividere informazioni verificabili con gli enti di certificazione, i consumatori, le ONG e gli altri stakeholder. Al di là delle informazioni su cui Trusty si

concentra, è interessante sottolineare che la piattaforma offre un modello di business definito Freemium (Ruzza et al, 2022). Ciò significa che il cliente ha la possibilità di scegliere tra tre diversi pacchetti, i quali si differenziano per funzionalità e costi. Ovviamente, tale differenziazione è stata posta in essere con l'obiettivo di raggiungere il maggior numero di aziende, permettendo anche a coloro che godono di minori risorse finanziarie di poter entrare in contatto con suddetta tecnologia.

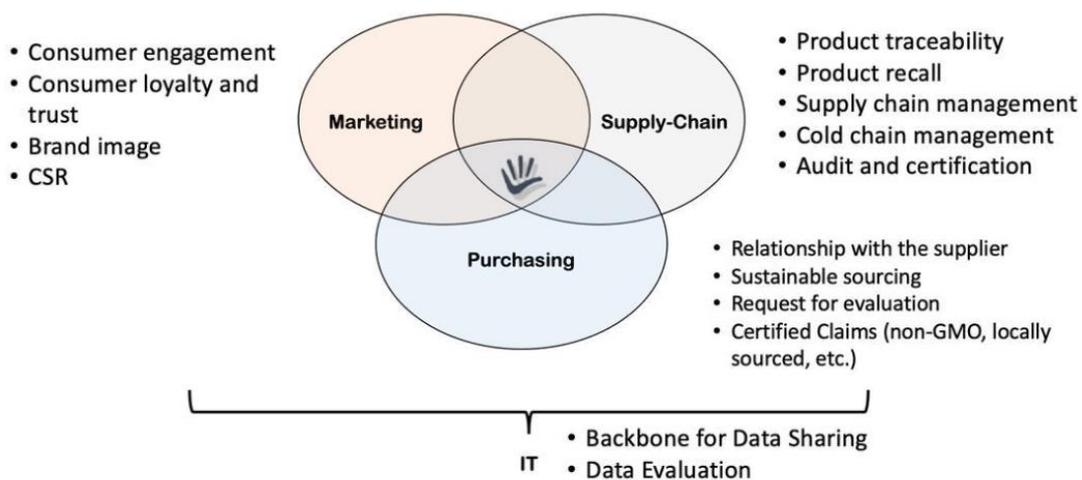


Figura 17. Cross-selling possibilities

Fonte: Presentazione Trusty, Apio (2023)

3.4.1 Pastificio Mancini: l'implementazione di Trusty al Made in Italy

Pastificio Mancini viene fondata nel 2010 ed oggi conta 35 dipendenti, ed un fatturato annuo di circa 3,5 milioni di euro. Si tratta di un prodotto con un rapporto qualità prezzo superiore alla media: ciò fa sì che il target di consumatori ai quali l'azienda si rivolge siano principalmente ristoranti di alto profilo e consumatori premium. I primi ricercano materie prime di eccellenza volte ad elevare la qualità dei loro piatti e, quindi, del loro servizio; proprio per questo motivo, tale tipologia di clienti è fortemente focalizzata sulla qualità del prodotto e, soprattutto, sull'origine dello stesso. In tal senso la 'storia' del prodotto – e, quindi, il suo intero percorso lungo la supply chain – assume una rilevanza fondamentale per poter trasmettere il valore della propria cucina. L'azienda, quindi, per soddisfare l'aspettativa dei propri consumatori ha – nel

corso degli anni – posto in essere una serie di best practice: Pastificio Mancini vanta un'integrazione verticale dei propri processi, occupandosi dell'intera gestione della supply chain, dalla coltivazione delle materie prima fino alla consegna del prodotto al consumatore finale, applicando un protocollo definito Buona Pratica Agricola (BPA), la quale riporta tutte le regole da rispettare per ottenere materia prima di altissima qualità, rispettando l'ecosistema circostante. Allo stesso modo, l'azienda si occupa della trasformazione della materia prima in pasta, seguendo ferree regole in termini di macinazione del grano, trafilatura al bronzo ed essiccazione della pasta (Ruzza et al, 2022). Alla luce di tutti gli sforzi posti in essere per raggiungere la qualità ricercata e rispettare – comunque – l'ambiente, il Pastificio aveva la necessità di comunicare tali pratiche ai propri clienti: in tale circostanza, gli interessi di Trusty e le necessità dell'azienda si sono incontrati. Pasta Mancini è, infatti, stata una delle prime aziende alimentari ad aver aperto una canale di comunicazione diretto con i propri consumatori: a partire da gennaio 2021, attraverso un QR code presente sul packaging del prodotto, l'azienda ha permesso ai propri clienti di collezionare tutte le informazioni necessarie per dare un'identità al prodotto in maniera istantanea e senza intermediari, accedendo alla pagina web personalizzata dal produttore con documenti, descrizioni, certificati, foto, video o contenuti creativi che consentono di incrementare l'impatto positivo nei confronti del brand.

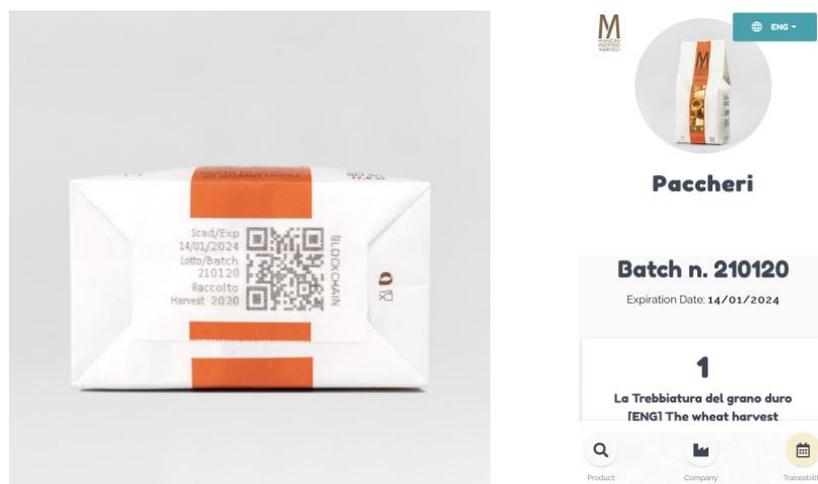


Figura 18. QR code e pagina web Pastificio Mancini

Fonte: Pastificio Mancini, Official Website (<https://www.pastamancini.com>)

Al di là della possibilità di fornire maggiori informazioni, e quindi maggiore consapevolezza, ai propri consumatori, l'obiettivo fondamentale del Pastificio Mancini è quello di tracciare i campi di grano, automatizzare l'inserimento dei dati ed automatizzare la stampa dei codici QR sul packaging dei prodotti attraverso l'implementazione della blockchain e dell'Internet of Things. Nell'ottica di raggiungere tali obiettivi, Apio ha implementato una serie di fasi, ritenute fondamentali (Ruzza et al, 2022):

1. Analisi del modello aziendale;
2. Creazione all'interno della piattaforma del profilo dell'azienda (e degli utenti associati);
3. Data entry per le strutture e per i prodotti;
4. Microservizi per l'automazione del data entry;
5. Personalizzazione della pagina pubblica.

Tra gli aspetti che coinvolgono l'utilizzo della blockchain emerge la fase di sviluppo di microservizi per l'inserimento automatico dei dati: Trusty offre diverse possibilità circa l'inserimento di informazioni di tracciabilità sulla blockchain, le quali possono essere introdotte manualmente da parte dell'azienda così come trasmesse automaticamente per tramite dell'utilizzo di sensori Internet of Things. In tale specifica circostanza, Apio ha optato per una soluzione intermedia, prevedendo l'inserimento automatico dei dati sulla blockchain, con l'obiettivo di agevolare il flusso ed il carico di lavoro sostenuto. Tale fase si è dimostrata possibile attraverso la creazione – da parte di Trusty – di un sistema di automazione software che ha integrato le funzionalità di Trusty con il Manufacturing Execution System (MES), già adottato dall'azienda: tale software esegue un'analisi automatica delle informazioni che il Pastificio Mancini processa già all'interno del MES, registrando nuove informazioni sulla piattaforma dedicata. Tale procedura viene eseguita automaticamente ogni sera, sollevando l'azienda in oggetto dall'onere di inserire quotidianamente e manualmente tutte le informazioni, agevolando il carico di lavoro e riducendo – al contempo – il margine di errore. Da ultimo, in termini di implementazione della blockchain, un'ulteriore fase consiste nell'automazione della stampa del QR code sul packaging del prodotto, facendo sì che Trusty riesca a comunicare con la macchina da stampa per tramite di un API.

Al di là di tale opportunità, un altro aspetto interessante, se non quello ritenuto fondamentale, da analizzare avuto riguardo il Pastificio Mancini è la modalità con cui la blockchain viene utilizzata per registrare le informazioni che saranno poi condivise non solo con il consumatore finale, ma anche con il resto della catena di approvvigionamento. Ciò che Ruzza et al (2022) sottolineano numerose volte nel corso del loro scritto è la presenza di un approccio agnostico di Trusty avuto riguardo la scelta della tecnologia da implementare. Ciò significa che la piattaforma consente di utilizzare, a seconda delle specifiche necessità e richieste del cliente, tipologie differenti di blockchain. Durante il primo capitolo è stato possibile investigare le diverse forme e declinazioni che tale tecnologia può assumere, ed in questo caso, l'implementazione di Trusty consente di servirsene: nel caso del Pastificio Mancini la scelta è ricaduta sulla blockchain pubblica Bitcoin, poiché quest'ultima garantisce efficienza (utilizzo del protocollo Open Timestamp; è pubblica, affidabile e completamente indipendente. Eppure, la tracciabilità non rappresenta un'innovazione avuto riguardo tale tecnologia, motivo per il quale è stato necessario inserire una novità per Trusty, con la finalità di renderla una piattaforma unica nel suo genere ed all'avanguardia: tale piattaforma esterna garantisce, infatti, l'autenticazione notarile delle informazioni e l'immutabilità delle stesse una volta registrate. Per quanto concerne l'autenticazione notarile, tale notarizzazione su Bitcoin avviene attraverso una procedura standard, e per tramite dell'utilizzo di un protocollo Open Timestamp, il quale fornisce un formato dedicato alla marcatura temporale su Bitcoin. Tale marcatura, come è già stato possibile approfondire, permette di dimostrare – in maniera immutabile – che determinati dati esistevano prima di una specifica dati. Ai vantaggi sopra riportati se ne aggiunge uno di fondamentale importanza: i costi di transazione – volti a registrare le informazioni su blockchain – risultano estremamente limitati, poiché il protocollo Open Timestamp consente di sfruttare la rete per ridurre tali costi: tale funzionamento consente di aggregare insieme un elevato numero di informazioni, inserendole all'interno della blockchain ogni due ore attraverso una singola transazione, ciò permette – quindi – di suddividere i costi di registrazione tra tutti i soggetti che abbiano inserito diverse informazioni sulla piattaforma, poiché la transazione risulta unica per tutte quelle informazioni che siano state registrate in quell'arco di tempo. Da ultimo, l'idea di aver scelto una blockchain pubblica, avuto specifico riguardo il caso del Pastificio Mancini, rappresenta la scelta ideale per proteggere il consumatore dalle informazioni

registrate in esso: difatti, essendo completamente indipendente dai suoi produttori, i quali non possono in alcun modo modificare le informazioni, una volta che siano state inserite, il sentimento di fiducia nei confronti della piattaforma aumenta sensibilmente.

Trusty ed il caso applicativo rappresentato dal Pastificio Mancini consentono di evidenziare alcuni aspetti interessanti avuto riguardo il funzionamento della blockchain ed, in particolare, le sue differenti declinazioni. Tale piattaforma è stata pensata, principalmente, per soddisfare le esigenze delle piccole e medie imprese. Difatti, Apio nel tentativo – in un primo momento – di promuovere IBM Food Trust, si è resa conto del fatto che le PMI non incontrano le medesime necessità di colossi come Walmart o Maersk: le prime hanno bisogno di integrare la tecnologia blockchain principalmente per scopi di marketing, ovvero nel tentativo di comunicare l'eccellenza dei loro marchi e dei loro prodotti in un approccio B2C. Le aziende che vendono i loro prodotti direttamente al consumatore finale in ottica B2C scelgono Trusty per perseguire principalmente strategie di *customer relationship management* (CRM) ^[35]. Questa strategia consiste nell'aumentare il business ed il numero di clienti garantendo la loro soddisfazione nei confronti dell'azienda e dei suoi prodotti (Strauss e Frost, 2014). Una pratica comune in questa strategia è quella di creare punti di contatto con il cliente e fornire tutte le informazioni necessarie in ogni possibile occasione (Strauss e Frost, 2014). Grazie a Trusty, viene creato un nuovo punto di contatto tra il cliente e l'azienda produttrice e le informazioni vengono comunicate in modo più sicuro e diretto.

^[35] CRM sta per Customer Relationship Management, che in italiano significa Gestione delle Relazioni con i Clienti. Si tratta di un insieme di pratiche, strategie e tecnologie che le aziende utilizzano per gestire e analizzare le interazioni e le relazioni con i clienti. I sistemi CRM sono progettati per centralizzare i dati dei clienti, tracciare le interazioni dei clienti attraverso vari canali e fornire strumenti per gestire le relazioni con i clienti, i processi di vendita e il supporto ai clienti. I sistemi CRM includono tipicamente funzionalità come la gestione dei contatti, il tracciamento dei lead, la previsione delle vendite, la gestione delle opportunità, l'automazione del marketing e il servizio e supporto al cliente. L'obiettivo è migliorare la soddisfazione del cliente, aumentare l'efficienza delle vendite e migliorare complessivamente la gestione delle relazioni con i clienti. Implementando un sistema CRM, le aziende possono raccogliere e analizzare dati preziosi sui clienti, tra cui informazioni di contatto, cronologia degli acquisti, registri delle comunicazioni e preferenze. Queste informazioni possono poi essere utilizzate per personalizzare le interazioni, adattare le campagne di marketing, individuare opportunità di vendita e fornire un migliore supporto al cliente. Complessivamente, il CRM aiuta le aziende a costruire relazioni più solide con i clienti, razionalizzare i processi di vendita e marketing e guidare la crescita aziendale focalizzandosi su strategie incentrate sul cliente (Kumar, V., & Reinartz, 2018).

Per quanto l'idea di tracciare la propria supply chain possa rappresentare oggetto di efficientamento per le realtà locali, in realtà la maggior parte di queste dispone di un sistema integrato verticalmente, il quale permette all'azienda di essere proprietaria di ciascun passaggio che coinvolga la catena di approvvigionamento. Pastificio Mancini per quanto sia conscio del fatto che monitorare la supply chain sia fondamentale in termini di riduzione dei costi e delle inefficienze, ha deciso di adottare Trusty per comunicare i suoi sforzi circa la realizzazione di un prodotto così premium. Basti tenere in considerazione che, mentre le grandi aziende come Walmart possono costringere i loro fornitori e le aziende a prendere parte a blockchain e sistemi di tracciabilità sfruttando il loro ruolo di leader del gruppo o distributori leader, questo non è possibile per le PMI. Di qui, la volontà di Trusty di inserirsi in questo mercato ancora 'scoperto', mettendo a disposizione dei propri clienti una serie di pacchetti modulabili ed un approccio – da parte di Apio – che persegue l'obiettivo di realizzare la migliore soluzione – su misura – per i propri clienti e, quindi, per queste piccole e medie realtà imprenditoriali.

CAPITOLO QUARTO

INTERVISTA AD ALESSANDRO CHELLI, CEO E CO-FOUNDER DI APIO

Avendo già preso parte ad una sessione dedicata alla narrazione del progetto Trusty da parte del Dottor Chelli, in data 29 Marzo 2023, la seguente intervista bypassa alcuni aspetti fondamentali avuto riguardo la piattaforma, evidenziandone altrettanti. Le origini ed il funzionamento tecnico di 'Trusty' – dei quali anche l'intervista rappresenta una foto rilevante – sono stati approfonditi nei primi paragrafi del terzo capitolo, mentre aspetti di natura maggiormente qualitativa verranno discussi nel corso di questa sessione.

“Perché nasce l'idea di Trusty?”

Trusty nasce da un'opportunità di business, una lacuna presente nel mercato. Oggi, consumatori, investitori, autorità di regolamentazione ed organizzazioni non governative fanno pressione sulle aziende del settore alimentare affinché compiano passi concreti verso la sostenibilità. L'81% degli acquirenti dichiara che la trasparenza è fondamentale per loro, sia che acquistino online che in negozio (<https://prn.to/3IRGTfc>). Nonostante ciò accada – teoricamente o materiale – il 44% degli acquirenti non si fida completamente delle informazioni sui prodotti fornite dai produttori e dai marchi o dalle istituzioni governative. Dopotutto, le esigenze dei consumatori sono sensibilmente cambiate e la trasparenza deve evolversi di pari passo. Quando hanno bisogno di ottenere informazioni più dettagliate sui prodotti o di chiarire delle domande, gli acquirenti si rivolgono a Internet ed il 47% di questi sceglie di ricercare gli ingredienti online in caso di confusione, mentre l'89% dei consumatori sarebbe più propenso a cercare dettagli su un prodotto se questo avesse maggiori informazioni online. Proprio in virtù di queste necessità crescenti nasce l'idea e, soprattutto, la necessità di dar vita a Trusty: comunicare con ai consumatori la qualità del proprio prodotto attraverso attività pianificate di marketing non è più sufficiente, così come non lo è inserire claim sulle scelte sostenibili

intraprese dalle aziende. Era necessario dar vita ad un sistema, ad una piattaforma affidabile, la quale fosse capace di trasmettere, non solo a parole, ma attraverso fatti certificati, che il prodotto fosse provvisto di determinate caratteristiche, ritenute – oramai – indispensabili per il consumatore. Un'altra motivazione, non affatto secondaria, è data dalla presenza massiva di frodi alimentari, le quali hanno raggiunto i 40 miliardi di dollari di valore, ovvero quasi l'1% del commercio totale. Difatti, secondo la Global Food Safety Initiative, i truffatori motivati dal guadagno economico si infiltrano nel mercato globale attraverso una varietà di mezzi: contraffazioni, diluizioni, sostituzioni ed etichettature errate. Attraverso l'implementazione di Trusty, invece, viene data la possibilità alle imprese di tracciare singolarmente i propri prodotti, riuscendo a comprendere velocemente l'eventuale presenza di prodotti oggetto di frodi alimentari (<https://cnb.cx/3Eu3uEZ>). Da ultimo, si stanno facendo strada una serie di normative, a livello internazionale ed europeo, che richiedono alle imprese una maggiore trasparenza: attraverso l'implementazione di Trusty le imprese riescono a raccogliere i dati necessari per confermare le loro attività in assoluta trasparenza e nel rispetto della normativa vigente. In particolare, la capacità delle imprese di fungere da *first mover* consente loro di guadagnare un vantaggio competitivo importante, soprattutto alla luce di un mercato sempre più aggressivo: le imprese che si dimostrano sostenibili ed in linea con le richieste poste dagli enti di regolazione oggi, non dovranno affannare un domani per sanare il gap esistente tra attività di produzione e regolamentazione.

“Come è nata la collaborazione con IBM Food Trust?”

IBM Food Trust rappresenta un punto di partenza fondamentale per Apio. In un primo momento, infatti, la start up si è certificata nel 2018 – come prima al mondo – sulla piattaforma di IBM Food Trust, imparando come funzionasse tale sistema e seguendo progetti per conto di IBM, essendo – all'epoca – sprovvisti di una propria piattaforma. Trusty nasce, quindi, in un primo momento per colmare una mancanza di IBM Food Trust, poiché quest'ultima si occupava esclusivamente della parte di tracciabilità, mancando completamente dell'aspetto legato al consumatore (QR CODE, racconto della tracciabilità verso il consumatore). Trusty nasce, quindi, come integrazione di tale piattaforma. Apio, però, si è dimostrata capace di cogliere un'opportunità di business importante: IBM Food Trust si rivolgeva ad un target di imprese

multinazionali, con licenze – per usufruire della piattaforma – estremamente elevate. Proprio per riuscire ad andare in contro alle esigenze delle PMI – in particolare italiane – e delle cooperative in paesi emergenti, la start up decide di sviluppare anche la parte di tracciabilità – combinata a quella di marketing – prevedendo dei costi accessibili. La visione di Trusty è, infatti, quella di rendere democratico l’accesso a tale tipologia di tecnologie, semplificandone l’implementazione ed i costi di accesso.

“Come possono differenziarsi le implementazioni di Trusty?”

Possiamo dividere le applicazioni di Trusty in due ambiti:

1. **Filiere Made in Italy.** Il produttore cerca di valorizzare il proprio prodotto rispetto al tema della qualità tracciata (esempio, Pastificio Mancini). E questo perché con Apio, la società che ha poi costituito Trusty, siamo Service Provider all’interno del progetto Trackit di ICE (Italian Trade & Investment Agency - <https://www.ice.it/blockchain>). Cosa significa essere Service Provider? ICE sottopone ad Apio delle aziende che possono spaziare dal settore agroalimentare, tessile, design etc (nonostante loro mantengano quasi sempre la linea dell’agroalimentare, trattandosi del loro core business), i quali vogliono valorizzare il proprio prodotto rispetto a mercati esterni. Tra le filiere interessate, Apio ha seguito quella del pomodoro, grano, olio, vino e, quindi, le principali del Made in Italy, seguendo la progettualità sopra descritta. Si passa, dunque, dal marketing (inserendo sul packaging il QR CODE per comunicare con il consumatore) fino alla possibilità di raccogliere i dati di tracciabilità per certificare provenienza, metodologie di produzione o, comunque, qualcosa che permette di contraddistinguere l’azienda. Tale aspetto si sposa perfettamente con una serie di normative emanate a livello europeo, laddove oggi le aziende – in un’ottica di Corporate Social Responsibility – cercano, sempre più, di comunicare valori legati alla sostenibilità delle filiere: claim ‘100% italiano’ oppure ‘KM0’ oppure ‘prodotto utilizzando fonti rinnovabili’. Tutte queste informazioni, a livello europeo, possono essere riassunte in una normativa dedicata, la quale prende il nome di ‘Green Claim’, laddove, per inserire questi green claim è necessario le imprese dimostrino la veridicità della suddetta affermazione, onde evitare il verificarsi di situazioni di greenwashing. In

questo senso, Trusty rappresenta un valore inestimabile per le aziende di riferimento, poiché attraverso l'utilizzo della piattaforma l'imprenditore può certificare il motivo per il quale ha inserito un determinato claim, dimostrando l'esistenza di dati a supporto. Ad avvalorare la credibilità di una piattaforma come Trusty, e della start up Apio nel suo complesso, è la nuova partnership con l'ente di certificazione RINA (<https://www.rina.org/it/business/certification/service-certification>). Essendo la blockchain una dorsale di scambio di informazioni, il rischio principali è la falsificazione delle informazioni inserite, e questo perché la tecnologia non è ancora capace di verificare i dati immessi e, come ben approfondito, una volta inserite tali informazioni, la loro natura è pressoché immutabile. Proprio in virtù di tale scoglio, Apio ha deciso di collaborare con RINA onde evitare che possano essere notarizzate informazioni false e fraudolente senza che ve ne sia un'accurata verifica. In questo modo alcune informazioni vengono accuratamente verificate dall'auditor: prima di essere inserite in blockchain vengono, quindi, esaminate e, conseguentemente, immesse in blockchain provviste del bollino di certificazione, incrementando il valore delle informazioni stesse e delle filiere delle comunicazioni che si fanno, rispondendo anche perfettamente alla normativa europea dei green claim.

2. **Filiere internazionali.** Avuto specifico riguardo le filiere internazionali, la domanda – lato imprese – è ben diversa da quella delle filiere del Made in Italy, così come la normativa cambia sensibilmente, obbligando Apio – e quindi Trusty – ad adattare il proprio modello di business per renderlo compliant alle necessità. La società si sta concentrando sulle filiere del cacao e del caffè, in particolar modo sulla produzione delle materie prima, laddove sussistono una serie di complessità importanti. Esistono numerosi *farmers* che si occupano della produzione di caffè o cacao, mentre si registra un numero esiguo di *traders* o *esportatori* che hanno l'obiettivo di commercializzare tali materie e, da ultimo, sussistono una moltitudine di produttori, ovvero aziende trasformatrici e distributrici. In questo specifico caso parliamo di filiera lunga, all'interno della quale emergono diversi temi legati – non tanto al marketing ed alla valorizzazione del prodotto, perché sia comunicato al consumatore – alla sostenibilità delle filiere, la loro eticità, quanto e come vengono retribuiti i farmers, se lo stile di vita

di questi attori lede alla loro dignità o alla loro salute o, da ultimo, se la massiva produzione di queste materie costringe i farmers – sempre più soggetti ad un incremento della produzione – ad operare atti di deforestazione o degradazione di aree protette. Quello che Apio sta facendo avuto riguardo tali supply chain globali è cercare di portare la piattaforma per offrire al consumatore finale, ma soprattutto agli attori che producono da queste materie prima, tutti gli strumenti per certificare il che il prodotto sia sostenibile dal punto di vista ambientale e sociale, avendo degli elementi per dimostrare quanto sopra, laddove tali elementi si sostanziano negli strumenti di tracciabilità. Anche in questo contesto entrano in gioco due normative di fondamentale importanza (trattandosi di normative estremamente recenti, le due devono ancora entrare in vigore, poiché viene riconosciuto un lasso di tempo alle imprese per adattarsi alle nascenti regolamentazioni):

- Deforestation-free products. La normativa prevede la necessità di dimostrare – qualora si tratti di materie prime come il cacao, caffè, olio di palma etc – che il prodotto non è stato coltivato in zone soggette a deforestazione o degradazione di aree verdi. Perché la normativa sia rispettata, è necessario dimostrare che la coltivazione non sia avvenuta a seguito del 31.12.2020, e quindi attraverso la piattaforma Apio consente alle aziende di usufruire non solo del sistema di tracciabilità (in virtù della quale possono certificare da quale campo proviene la produzione), ma mette a disposizione delle immagini satellitari capaci di dimostrare il rispetto – da parte dell’azienda interessata – della normativa in oggetto. Vengono condivise delle foto raffiguranti il campo in data 31.12.2020 tramite immagini satellitari, le quali vengono – poi – confrontate con l’immagine satellitare relativa al giorno di produzione o raccolta (date che vengono reperite grazie al sistema di tracciabilità), per dimostrare che nel tempo intercorso tra le due immagini non si è verificata deforestazione. Apio sta lavorando in questa direzione in Colombia, Costa d’Avorio, Camerun, Etiopia soprattutto con cooperative del cacao.
- Corporate sustainability due diligence. Tale normativa è legata alla retribuzione dei farmers, concentrandosi quindi sul tema dello sfruttamento del lavoro, dello

sfruttamento minorile etc. Per le imprese è importante dimostrare che i diritti dei farmers che intervengono lungo la catena del valore – o comunque di tutti gli attori coinvolti – siano rispettati.

“Come è possibile verificare con certezza che i diritti di questi attori vengano effettivamente rispettati?”

Tutte le informazioni vengono certificate per tramite di autodichiarazioni. Nel senso che tali dati (l’ammontare delle transazioni, ovvero il P/SU del raccolto del farmer) vengono raccolti dalle piattaforme. Alcuni clienti stanno, però, chiedendo ad Apio di disintermediare tale operazione (essendo l’associazione a dichiarare quanto paga i singoli farmers, proprio perché questi ultimi difficilmente hanno gli strumenti per raccogliere le informazioni in maniera sistematica, trattandosi pur sempre di farmers di cacao in Costa d’Avorio, operanti in località remote della regione). Per questo motivo Apio sta dando vita a dei sistemi che permettano di eludere la figura delle associazioni raggiungendo direttamente i singoli farmers (Figura 19).



Figura 19. Apio comunica direttamente con i farmers tramite WhatsApp.

Fonte: Presentazione Trusty, Apio (2023)

Per farlo si stanno avvalendo di messaggi WhatsApp per tramite dei quali riescono a comunicare con tali attori, richiedendo loro se i dati inseriti da parte dell'associazione – circa il dato retributivo – siano corretti oppure no. Viene quindi data loro la possibilità – in maniera estremamente semplificata – di confermare o non confermare quanto dichiarato, modificando – se necessario – le informazioni riportate. Il next step che Apio vuole raggiungere è la possibilità di inserire – anche in tale contesto, come avviene oggi in Italia con RINA – delle sessioni di Audit per verificare che le informazioni che raccolgono abbiano un valore ed una veridicità.

“Come nascono le collaborazioni internazionali – come imprese del settore – per Apio?”

Avuto riguardo la Costa d'Avorio, la start up ha iniziato a lavorarvi commercialmente a partire da un progetto finanziato da AICS (<http://openaid.aics.gov.it/>) nel 2020. L'efficienza della piattaforma ha permesso alla società di raggiungere un'importante visibilità, entrando in contatto con grandi produttori di cioccolato, come ad esempio Domori (<https://domori.com/en/>). Tale progetto coinvolge una cooperativa, la YOSRAN, fondata da Estelle Konan, un'operatrice specializzata nel cacao BIO in Costa d'Avorio; 158 agricoltori distribuiti in 5 villaggi ed una superficie di coltivazione di 428 ettari; da ultimo, un cliente appunto, Domori, produttore di cioccolato di alta qualità che acquista cacao direttamente dalla cooperativa. Basti pensare che la Costa d'Avorio è al primo posto nel mondo per la produzione e l'esportazione dei semi di cacao utilizzati per la fabbricazione del cioccolato, a partire dal 2012, fornendo il 38% del cacao prodotto nel mondo. L'Africa occidentale fornisce collettivamente due terzi del raccolto mondiale di cacao, con la Costa d'Avorio in testa alla produzione con 1,8 milioni di tonnellate nel 2017, e i vicini Ghana, Nigeria, Camerun e Togo che producono altri 1,55 milioni di tonnellate. L'esperienza in Costa d'Avorio ha permesso a Trusty di stringere forti rapporti di collaborazione con l'azienda Domori, la quale ha – poi – deciso di implementare la piattaforma anche in Colombia e Camerun, ampliando non solo il bacino di influenza di Trusty in termini di imprese raggiunte, ma anche in termini territoriali.

“Una delle difficoltà maggiori, circa l’implementazione di una tecnologia come quella su cui si fonda Trusty, è rappresentata dall’educazione di coloro che la devono utilizzare. A maggior ragione, si pensa nell’immaginario comune, se si tratta di farmers in Costa d’Avorio o in Ecuador, dove l’accesso ad Internet si dimostra pressoché inesistente. Come riuscite a raggiungere questi attori?”

Abbiamo sicuramente riscontrato una certa difficoltà nell’educare tali attori all’utilizzo di Trusty. Ciononostante, tali cooperative e, quindi, i farmers sono abbastanza abituate a condividere informazioni con gli enti di certificazione avuto riguardo materie prime come cacao, caffè o frutta (certificazioni come Fair Trade, Global Gap, UTZ etc). Tipicamente queste informazioni, ad oggi, vengono raccolte in maniera cartacea, proprio per ovviare alla problematica dell’accesso ad Internet, e mantenute in archivi in attesa del controllo previsto dall’Audit. Quello che Apio ha fatto è stato dar vita a form molto semplici che ricalcano quelli degli enti di certificazione, sfruttando tali applicazioni per un duplice obiettivo: da un lato, la possibilità di raccogliere informazioni per Trusty; dall’altra parte, condividere queste stesse informazioni con gli enti di certificazione, sostituendo – quindi – il processo sulla carta con un processo digitale. In questo senso, uno dei vantaggi – così come una delle maggiori innovazioni – è rappresentato dalla possibilità di raccogliere tali informazioni offline e, quindi, anche senza accesso ad Internet.

“Quali tipologie di aziende si rivolgono a Trusty?”

Vi sono diverse tipologie di aziende interessate alle funzionalità che offre la piattaforma. Al di là della distinzione tra coloro interessate maggiormente all’aspetto di comunicazione del valore e della qualità del loro prodotto (marketing) o coloro interessate a tracciare i diversi step che si susseguono lungo la catena di produzione, ci sono anche imprese che decidono di rivolgersi ad Apio per incrementare il proprio vantaggio competitivo rispetto ai principali competitors (v. Pastificio Mancini), comunicando quindi una qualità del prodotto che origina dal campo, passando poi per la lavorazione, fino ad arrivare alla tavola; ma sussistono anche una serie di imprese che, ad oggi, necessitano di piattaforme capaci di dimostrare che il loro operato sia in

linea con le normative esistenti. Un esempio è dato dalla normativa Deforestation-free products, la quale obbliga le aziende in essere a certificare che il loro comportamento non violi la sussistenza dell'ecosistema che ci circonda. Queste imprese, molto spesso, non hanno alcun interesse nel comunicare la qualità del loro prodotto, ma hanno solo ed esclusivamente la necessità di comunicare un comportamento in linea con le normative vigenti.

“Si è trattato specificatamente del caso Pastificio Mancini nel corso del terzo capitolo, laddove il processo di implementazione di Trusty è avvenuto su tutta la catena del valore, dal raccolto al consumatore. L'azienda prevede un'integrazione verticale di tutti i processi coinvolti, lasciando intendere che per loro tale implementazione risulti meno complessa. Ci sono, invece, imprese che – non potendo inglobare tutte le fasi del processo produttivo, hanno riscontrato una maggiore difficoltà nel coinvolgere i propri partners e, quindi, gli attori coinvolti nella loro catena del valore? Avete riscontrato delle resistenze da parte di alcuni fornitori o produttori?”

Solitamente l'approccio è incrementale. Nel senso che tipicamente un'azienda decide – per necessità interne e/o di business – di rivolgersi ad Apio per l'implementazione di Trusty. Conseguentemente, la stessa impresa cerca di coinvolgere anche i propri fornitori o, comunque, gli attori coinvolti nella filiera, potendo dimostrare concretamente i risvolti positivi derivanti dall'utilizzo di tale tecnologia. Sussistono, quindi, alcune realtà che integrano la piattaforma Trusty internamente, essendo interessati ad affermarsi sul piano marketing, e coinvolgono solo conseguentemente i propri fornitori; altre realtà, invece, possono decidere di implementare le funzionalità del sistema di tracciabilità sui propri fornitori, come avvenuto nel caso di Domori. L'azienda ha, in un primo momento, implementato Trusty sulla propria cooperativa in Costa d'Avorio, poi ha deciso di implementare le funzionalità del sistema di tracciabilità anche in Venezuela ed Ecuador. L'adozione della piattaforma risulta, quindi, per lo più incrementale.

“Quale delle tante fasi che si susseguono circa l'implementazione di Trusty avete riscontrato essere maggiormente difficoltosa?”

Tipicamente la parte di integrazione dei dati è quella più laboriosa. Molto spesso le imprese non sono provviste di un gestionale, e quindi è necessario intervenire in maniera più massiva. Ma anche qualora ne fossero provvisti, riuscire a far comunicare due server non è affatto scontato. D'altro lato, la parte più semplice – anche maggiormente intuitiva per le aziende – è quella di marketing.

“L’aspetto legato al marketing è molto importante per le aziende, soprattutto le PMI italiane, e sicuramente rappresenta un fattore trainante per l’adozione di Trusty. Avete registrato un riscontro positivo da parte dei consumatori, ad esempio a seguito dell’inserimento del QR CODE sul packaging del prodotto che riassume i passaggi della catena del valore?”

Solitamente l’aspettativa è che un numero elevato di visualizzazioni del QR CODE si traduca in un interesse del consumatore nei confronti del prodotto e del percorso da esso svolto, dal consumatore allo scaffale. In realtà quello che è stato possibile evidenziare non è tanto la quantità dei consumatori interessati a tali informazioni, quanto più la loro ‘qualità’. Basti pensare che Pastificio Mancini registra circa 200 visualizzazioni al mese, ovvero 200 scannerizzazione del QR CODE impresso sul prodotto. Non si tratta di un numero elevato di consumatori, ma non è questo ciò che interessa all’azienda. Come anticipato, si tratta di un’azienda – in questo specifico caso – che, dando vita ad un prodotto premium, tende – di conseguenza – a rivolgersi ad un cliente ‘premium’. Il target del pastificio sono, per la maggior parte dei casi, ristoranti di alto profilo, laddove gli chef risultano particolarmente interessati a conoscere la qualità e la storia del prodotto che utilizzano all’interno delle loro cucine, così come risultano estremamente interessati a racconto la qualità e la storia del prodotto in oggetto. Pastificio Mancini, per tramite dell’implementazione di Trusty, è riuscita a rendere ciò possibile, dando vita ad una serie di collaborazioni di natura duratura. Il target dell’azienda non è quindi rappresentato, come si potrebbe erroneamente pensare, dal consumatore della grande grande distribuzione organizzata, spiegando anche l’esiguo numero di visualizzazioni registrate. D’altra parte, è interessante sottolineare come questo tipo di informazioni siano controllate in maniera massiva da distributori, partner strategici, intermediari che perseguono l’obiettivo di esportare il prodotto all’estero. In questo modo, il Pastificio Mancini si è

guadagnato un vantaggio competitivo importante, mettendo a disposizione una serie di informazioni – verificate – ritenute fondamentali per coloro che debbano decidere se acquistare un prodotto Mancini oppure un prodotto competitor. Avuto riguardo il Pastificio Mancini, si configura un'esigenza legata al B2B, piuttosto che al B2C, facendo sì che, ad esempio, se una scannerizzazione viene effettuata da una catena di alberghi internazionali che ha come obiettivo quello di scegliere quale tipologia di pasta utilizzare per i successivi anni all'interno delle proprie cucine, quella specifica scannerizzazione avrà un peso estremamente più influente rispetto a quello di un singolo consumatore che dallo scaffale di un supermercato scannerizza le informazioni messe a disposizione. Ciò non implica che il consumatore della grande distribuzione organizzata non abbia un ruolo importante all'interno del business del pastificio ma che, in proporzione il valore aggiunto sia significativamente diverso.

“Quali sono, ad oggi, le prospettive future di Trusty?”

Sicuramente affermarsi sul piano internazionale, continuando a sostenere le cooperative presenti nei paesi in via di sviluppo, ma iniziare anche a spostare il focus su paesi all'interno dei quali Trusty non ha ancora avuto modo di farsi conoscere.

Riconoscimenti

Ringrazio Alessandro Chelli, CEO e co-fondatore di Apio S.r.l. per il supporto e la collaborazione in questo lavoro.

CONCLUSIONI

Definire la tecnologia blockchain, circoscriverne le peculiarità e comprenderne il funzionamento si dimostra indispensabile per cogliere le opportunità insite in tale tecnologia. Approfondire la sua implementazione alla supply chain management ed, in particolare, al settore agro-alimentare consente di cogliere le innumerevoli aree di miglioramento che la digitalizzazione può affermare. Si dimostra, dunque, fondamentale da parte delle imprese continuare ad investire nell'innovazione delle proprie attività: la tecnologia blockchain, in tale contesto specifico, consente di configurare una serie di vantaggi importanti, a partire dalla riduzione dei costi di transazioni e delle asimmetrie informative, così come un sostanziale incremento della collaborazione tra le parti ed un efficientamento delle pratiche di sostenibilità, aspetto ritenuto oramai fondamentale per la longevità delle imprese.

L'elaborato, nel suo complesso, ha perseguito l'obiettivo di dimostrare che l'adozione delle emergenti tecnologie è fondamentale per operare miglioramenti continui alla struttura ed all'architettura aziendale, così come necessario si dimostra l'incremento proprio del vantaggio competitivo.

Il primo capitolo ha tentato di offrire una overview complessiva circa la tecnologia blockchain, ed il suo specifico funzionamento, laddove la seconda sezione si è dimostrata essenziale per anticipare quanto discusso nel corso della terza. La finalità è da ritrovarsi nell'analisi sistematica di Trusty, quale piattaforma che consente non solo di efficientare una serie di processi lungo l'intera supply chain, ma anche aspetti legati al marketing e, quindi, alla reputazione stessa dell'impresa che usufruisca delle sue funzioni. L'aspetto rilevante è dato anche dal monito che spinge Apio ad investire in una piattaforma di questo tipo: ricalcando le parole del CEO e Co-founder di Apio – e, quindi, di Trusty – l'opportunità di business colta si traduce nella possibilità di rendere democratica l'implementazione della blockchain all'interno delle PMI italiane – e non – e delle cooperative presenti nei paesi emergenti.

I fattori di complessità, legati al funzionamento della tecnologia vengono completamente bypassati dalla necessità di rendere reali e tangibili i vantaggi propri dell'innovazione: Trusty

consente di incrementare il valore del brand, dando visibilità ai suoi consumatori delle caratteristiche del prodotto che stanno acquistando. Non solo la tecnologia blockchain, dunque, si fonda sul concetto di fiducia, ma la stessa economia necessita di virare il proprio orientamento, passando dalla necessità di creare profitto a danno della comunità e dell'ambiente, fino ad arrivare ad un'architettura di business che consente di creare profitto coinvolgendo positivamente anche gli stakeholders che la circondano. I consumatori, così come i fornitori, i produttori o i trasformatori, diventano un valore aggiunto; diventano partecipi dei processi che si susseguono lungo la catena di approvvigionamento in maniera consapevole e decidono, in maniera consapevole, di prendere parte al concetto di trasparenza e consenso condiviso che viene generato. Quando un'impresa decide di investire in scelte di natura sostenibile, tanto da un punto di vista ambientale quanto sociale, diventa essa stessa maggiormente sostenibile nel lungo periodo, investendo – dunque – sulla cosiddetta sostenibilità economica.

Trusty – e, quindi, l'implementazione della blockchain come strumento capace di offrire trasparenza e di far sì che la responsabilità diventi un'azione condivisa – rappresenta solo uno dei tanti fattori che possono, ad oggi, rappresentare un cambiamento per il benessere della società. Un consumatore che può affidarsi e fidarsi dei prodotti che acquista si trasformerà in un consumatore fedele, capace di premiare le scelte delle imprese di riferimento, consentendo loro di guadagnare un significativo vantaggio competitivo rispetto a coloro che non curano altrettanto meticolosamente tali aspetti. Un'impresa capace di comprendere il valore dell'innovazione che si cela dietro l'adozione della tecnologia blockchain, si dimostrerà un'impresa capace di ridurre i propri costi di transazione ed il rischio di frodi o malfunzionamenti della catena di produzione. Trusty si è dimostrata capace, con il proprio operato, di dimostrare – lato suo – che rendere l'innovazione democraticamente accessibile è possibile, costruendo piano dedicati a ciascun cliente, consentendo ad ogni singola realtà di incrementare la propria potenzialità e di investire nel proprio progresso. Allo stesso modo, la start up ha saputo dimostrare la sua capacità di porre l'attenzione non solo ed esclusivamente sul mero profitto economico derivante dalle proprie attività, ma la necessità di vita ad un business profondamente influenzato dal miglioramento del benessere collettivo: l'attenzione

nei confronti dei farmers in Costa d'Avorio, Ecuador o Etiopia, ha dimostrato la necessità di intervenire in maniera capillare su questioni quali i diritti dei lavoratori nei paesi in via di sviluppo; così come l'intervento atto a rendere le imprese compliant rispetto alle normative relative alle deforestazioni, consentono di porre una specifica attenzione su ricorrenti temi ambientale che riguardano, in prima istanza, il futuro delle generazioni odierne.

L'elaborato ha quindi discusso in maniera quanto più esaustiva possibile temi rilevanti avuto riguardo la tecnologia blockchain, il suo funzionamento, le sue peculiarità, la sua più ampia applicazione; così come le specificità e le criticità legate alla supply chain management e, da ultimo, ha dato spazio alla trattazione di un tema fondamentale, quale la filiera agroalimentare. Nonostante, dunque, la trattazione abbia coinvolti differenti tematiche, l'obiettivo fondamentale perseguito dal presente testo vuole essere quello di comunicare come la digitalizzazione delle imprese, nonostante le innumerevoli difficoltà che può comportare inizialmente, rappresenti una fonte di risorse indispensabili per il futuro: trasparenza, fiducia e sostenibilità rappresentano solo alcuni dei valori che possono essere condivisi per tramite dell'implementazione di una piattaforma come Trusty.

RIASSUNTO

Ad oggi, scambiare file ed informazioni attraverso l'uso di internet risulta particolarmente semplice: chiunque può – ad esempio – inviare un'immagine o un'e-mail da una parte all'altra del mondo, e questo perché tali informazioni non vengono realmente trasferite, ma copiate ed inviate; in virtù di ciò, tanto chi manda quanto chi riceve tali dati, sarà in possesso di una copia identica del file. Inevitabilmente, però, il sistema fallisce laddove l'obiettivo ultimo del mittente e del destinatario sia quello di finalizzare un trasferimento di valore, proprio perché l'idea di copiare ed inviare denaro non si dimostra concretamente realizzabile. C'è, però, una soluzione che abilita la libera circolazione del valore attraverso internet, la quale rende possibili suddetti trasferimenti senza la necessità di intermediari ed evitando le duplicazioni: la blockchain. Tale tecnologia blockchain, facendo sì che le transazioni finanziarie possano essere eseguite direttamente tra le parti interessate, senza la necessità di intermediari, come banche o istituti finanziari. Difatti, l'idea alla base è proprio quella di creare un sistema finanziario – e non solo – globale che sia aperto, accessibile ed inclusivo per tutti, indipendentemente dalla posizione geografica o dallo status socio-economico dei singoli utenti.

Il 31 ottobre 2008, durante uno dei periodi più sofferti dall'economia mondiale – la crisi dei mutui subprime – su una mailing list di crittografia (Cypherpunk) viene pubblicato il cosiddetto Whitepaper del Bitcoin, un breve scritto – appena 9 pagine – capace di fornire una prima descrizione circa il funzionamento del protocollo Blockchain. Nakamoto ritiene necessario ed indispensabile dar vita ad un metodo di pagamento elettronico che si dimostri capace di esistere e sussistere al di là della presenza di un intermediario – le banche – e che non si fondi sulla fiducia che il pubblico ripone nelle istituzioni, quanto più su un sistema di crittografia capace di affermare trasparenza e privacy, dimostrandosi al contempo una vera e propria *disruptive innovation*. In questo modo viene a delinearsi una prima definizione di bitcoin, intesa come una criptovaluta proof-of-work a libro mastro distribuito, e di blockchain, espressione di un registro all'interno del quale viene tenuta traccia di tutte le transazioni completate a partire dalla creazione della valuta. D'altra parte, la blockchain è considerata una forma di Distributed Ledger Technology (DLT), ovvero una tecnologia che consente di mantenere una versione

condivisa di un registro digitale, in cui le transazioni vengono registrate e convalidate attraverso una rete distribuita di nodi.

Nonostante sia possibile ritrovare nel XV secolo le origini del più ampio concetto di blockchain, è solo alla fine del 1900 che tale tecnologia acquisirà una portata dirompente: difatti, l'idea della finanza crittografica inizierà a prendere forma – agevolata dall'ascesa dell'intelligenza artificiale, dell'Internet of Things e dell'Internet delle persone – solo negli anni '80 del secolo scorso, perseguendo l'obiettivo fondamentale di dar vita ad una moneta definita *ideale*, ovvero priva dei difetti che caratterizzavano, invece, la moneta tradizionale. I principali precursori della tecnologia sono da ritrovarsi nelle figure di David Lee Chaum, al quale va dato il merito di aver costituito la prima moneta digitale – eCash – al mondo, dando luogo ad un sistema di denaro elettronico anonimo e centralizzato e di aver formulato la cosiddetta firma cieca; Nick Szabo, uno dei massimi esponenti della corrente dei Cypherpunks, ha rappresentato una figura di fondamentale importanza, definendo il concetto di Proof of Work; Hal Finney, nel 1999 ha perfezionato il lavoro svolto da Szabo, la Reusable Proof of Work; fino ad arrivare a Nakamoto ed il suo Whitepaper, documento che ha posto le fondamenta allo sviluppo pratico di una prima versione della tecnologia blockchain, per tramite della piattaforma Bitcoin.

La blockchain – letteralmente catena di blocchi – viene definita come un libro mastro digitale distribuito, capace di memorizzare qualsiasi tipo di dati. All'interno della catena ogni blocco si struttura su cinque differenti elementi: stored data, ovvero informazioni che vengono memorizzate all'interno di quel determinato blocco a seguito di un'avvenuta transazione; hash, che si sostanzia in una stringa di numeri e lettere – codice alfanumerico – che permette di identificare la natura del blocco; hash pointer, inteso come l'hash del blocco precedente; timestamp che indica il momento – data e ora – in cui il blocco è stato creato; da ultimo, nonce, espressione di un numero casuale utilizzato dagli algoritmi di consenso per creare l'hash del blocco. Complessivamente, questi elementi lavorano insieme per creare un blocco sicuro ed immutabile nella blockchain, laddove l'hash del blocco precedente consente ai blocchi di essere collegati tra loro, i dati delle transazioni garantiscono l'integrità delle transazioni stesse, il timestamp consente di tenere traccia del momento in cui è stata effettuata una transazione e il

nonce e l'hash del blocco sono utilizzati per garantire la sicurezza e l'immutabilità della blockchain. Nonostante si assuma che qualsiasi database da noi conosciuto sia in grado di memorizzare tale tipologia di informazioni, ciò che rende unica la blockchain – ed il fondamentale motivo dietro al suo successo e clamore – è da ricercare nel fatto che si tratti di un sistema completamente decentralizzato, i cui dati risultano immutabili e contrassegnati da un timestamp. La consequenzialità temporale delle transazioni rappresenta un aspetto di fondamentale importanza, laddove altrimenti si incorrerebbe nel noto problema del *double-spending*. L'aspetto rivoluzionario è da ritrovarsi nel fatto che la tecnologia blockchain fornisce un meccanismo di fiducia distribuito, laddove più parti detengono una copia del registro delle transazioni ed ogni parte ha la responsabilità di verificare che l'ordine ed i timestamp delle transazioni non siano stati manomessi. Ciò fa sì che, a differenza dei convenzionali database, all'interno dei quali le informazioni vengono registrate in un'unica posizione e, quindi, gestite da una figura centralizzata, la tecnologia blockchain preveda la creazione di blocchi di informazioni identici – libro mastro – conservate da più utenti – i nodi – sparsi sulla rete in tutto il mondo. Di fondamentale importanza, nell'istante in cui una nuova transazione viene effettuata e nuovi dati vengono processati, risulta l'aggiornamento simultaneo, da parte di tutti i nodi della rete, della loro versione del libro mastro. Difatti, in virtù del sistema di decentralizzazione che contraddistingue tale tecnologia, non solo ciascun nodo detiene un proprio libro mastro digitale – all'interno del quale viene tenuta traccia di qualsiasi transazione avvenuta – ma ogni libro mastro deve essere identico per tutti i nodi. Il minimo comune denominatore richiesto dalla piattaforma, perché la transazione possa essere finalizzata ed il nuovo blocco aggiunto alla catena, è la condivisione a tutti i nodi delle informazioni ed il raggiungimento del consenso maggioritario: nessuna transazione può essere approvata in maniera centralizzata, nessuno dei nodi può autonomamente e singolarmente dare il nulla osta ad una transazione, ma è necessario che almeno una maggioranza vagli la validità dell'operazione. In questo senso, prende forma il concetto di consenso distribuito, laddove solo in presenza di tale consenso il blocco può essere definitivamente – ed irreversibilmente – aggiunto alla catena e, di conseguenza, le transazioni sottostanti registrate nel libro mastro distribuito: d'altra parte, i blocchi risultano essere collegati tra loro in modo sicuro, formando una vera e propria catena digitale dall'inizio del libro mastro – 2008, anno in cui venne data

vita al blocco genesis da Nakamoto – ad oggi. Un aspetto che assolve un ruolo fondamentale all'interno del funzionamento della blockchain è rappresentato dal processo di mining: i nodi hanno la responsabilità di mettersi d'accordo, l'uno con l'altro, su come agire per aggiornare nello stesso modo le copie del libro mastro e per farlo devono raggiungere un consenso sulla versione corretta del registro: solo una catena di blocchi può risultare idonea, motivo per il quale laddove ci fosse dissonanza tra due catene avuto riguardo specifiche transazione, sarà necessario ed indispensabile sanare la suddetta difformità. Dal loro lato, le transazioni sono protette utilizzando la crittografia, motivo per il quale l'unico modo che i nodi hanno di confermare la legittimità di una transazione – e, quindi, di raggiungere il consenso maggioritario – è attraverso la risoluzione di complesse equazioni matematiche. Quest'ultimo concetto prende il nome di Proof of Work (PoW), espressione di un aspetto di fondamentale importanza all'interno del meccanismo blockchain, il quale si sostanzia – come sopra riportato – in operazioni matematiche ritenute estremamente difficili di risolvere ma la cui corretta soluzione risulta facilmente verificabile. Ciò implica che non tutti i nodi appartenenti alla rete debbano risolvere il suddetto 'rompicapo': è sufficiente che uno solo dei nodi – i quali prendono l'appellativo di minatori – finalizzi la Proof of Work trasmettendo al resto della rete la soluzione con annesso il blocco contenente le diverse transazioni processate. A quel punto, gli altri nodi saranno chiamati a verificare che si tratti della corretta soluzione dando luogo al processo di votazione. Ad essere tenuti in considerazione per una corretta formulazione del processo di voto sono i CPU e, solo quando il 51% della potenza di elaborazione della rete (CPU) avrà votato positivamente all'approvazione della catena, i nodi inizieranno a registrare le nuove transazioni all'interno di un nuovo blocco, modificando tutti i blocchi precedenti, ed agganciandolo alla catena. Da ultimo, tale tecnologia prevede – inevitabilmente – un sistema di incentivi atto a ricompensare gli sforzi posti in essere per la risoluzione della Proof of Work: i minatori sono, infatti, ricompensati attraverso l'erogazione di nuove quantità di valuta nativa della blockchain.

Si delineano, in tal senso, una serie di vantaggi e svantaggi propri di tale tecnologia. I primi possono riscontrarsi nella sicurezza, trasparenza, decentralizzazione, riduzione dei costi, efficienza, velocità e precisione; mentre i secondi ricomprendono la scalabilità, l'immutabilità delle transazioni, la regolamentazione lacunosa, i costi ed il rischio di perdita patrimoniale.

Proprio in virtù di alcune di queste limitazioni nel corso degli anni sono state sviluppate una serie di tipologie e piattaforme distinte di blockchain: dalla tipologia permissionless alla permissioned, dalla piattaforma bitcoin ad Ethereum. La blockchain permissionless permette a qualsiasi utente di partecipare alla rete senza che risulti necessaria una specifica autorizzazione, rendendola – infatti – più adatta ad applicazioni nel settore pubblico, in cui trasparenza e democratizzazione risultano fondamentali. Ciò fa sì che non esista un'autorità centrale competente a governare l'intera rete, motivo per il quale le transazioni vengono verificate – come già esaurientemente riportato – dai nodi della rete in modo distribuito ed autonomo. Nel caso della blockchain permissioned, queste ultime hanno iniziato ad emergere dopo l'avvento delle blockchain permissionless, come Bitcoin. Mentre le blockchain permissionless sono state create per supportare le criptovalute decentralizzate, le blockchain permissioned sono state sviluppate per rispondere alle esigenze di aziende e organizzazioni governative che desideravano utilizzare la tecnologia blockchain per gestire le loro attività in modo sicuro e privato. Per quanto concerne, invece, le piattaforme, anche queste si sono evolute negli anni: la piattaforma Bitcoin è stata introdotta nel 2009 come la prima criptovaluta decentralizzata al mondo: si tratta di una forma di denaro digitale che si serve della crittografia per garantire la sicurezza delle transazioni e la creazione di nuove unità monetarie. Bitcoin è gestito da una rete peer-to-peer (P2P) che consente agli utenti di scambiare denaro direttamente tra loro senza la necessità di un'istituzione finanziaria intermedia. Ethereum, d'altra parte, è espressione di una piattaforma decentralizzata basata sulla tecnologia blockchain – la prima piattaforma Turing complete – che consente agli utenti di creare e distribuire applicazioni decentralizzate, DApps (Dannen, 2016). Tale piattaforma è stata introdotta nel 2015 dal programmatore russo-canadese Vitalik Buterin e la sua principale peculiarità – che le consente di differenziarsi rispetto alle altre – è la capacità di supportare la creazione di 'smart contract' (Buterin, 2014). Questi ultimi risultano essere espressione di programmi informatici autonomi capaci di eseguire automaticamente gli accordi tra le parti, senza la necessità di intermediari, venendo eseguiti sulla piattaforma Ethereum nel medesimo modo in cui le transazioni vengono eseguite e registrate su blockchain, rendendo – quindi – la loro esecuzione immutabile e verificabile. Ciascuna di queste piattaforme, così come le diverse tipologie di blockchain che sono state esaminate hanno avuto un impatto trasformativo su una vasta gamma di settori, proprio in virtù

della loro capacità di creare registri immutabili, sicuri e decentralizzati, offrendo numerose possibilità di applicazione che vanno ben oltre alle ‘semplici’ criptovalute. L’implementazione è già stata sperimentata in settori come quello finanziario, sanitario, energetico, immobiliare, accademico, dei trasporti, della cultura e dell’intrattenimento e, da ultimo, dell’agro-alimentare. È proprio in questo contesto che l’implementazione della tecnologia blockchain lungo la supply chain management si dimostra rilevante.

La supply chain management è espressione dell’insieme di attività – interconnesse ed interdipendenti – che coinvolgono la gestione dei flussi di risorse, informazioni, denaro e servizi avuto specifico riguardo un’azienda e le diverse organizzazioni che prendono parte al processo di produzione e, successiva, distribuzione dei beni e dei servizi sul mercato. Tale catena di approvvigionamento esplicherebbe, nella sua complessità ed articolazione, il sistema di interazione che sussiste tra i diversi tipi di stakeholders che governano la supply chain: produttori, che producono o coltivano le materie prime per i beni; fornitori, che acquistano e vendono materiali; produttori, che trasformano i materiali in beni; trasportatori o fornitori di logistica, che spostano questi beni in tutto il mondo; responsabili della supply chain, che garantiscono il buon funzionamento delle operazioni in tutto, dalla pianificazione all’approvvigionamento di materie prime, alla produzione, alla consegna e ai resi; rivenditori, che vendono beni online o nei negozi fisici; consumatori, che acquistano e utilizzano questi beni e servizi. L’evidenza ha dimostrato come una corretta gestione, circa il funzionamento della catena di approvvigionamento, consenta di ottimizzare alcuni aspetti ritenuti fondamentali per la resilienza di un’impresa: dall’efficientamento della produttività della catena di approvvigionamento, alla riduzione degli sprechi e dei tempi di produzione e di consegna, passando per la capacità di migliorare la qualità del prodotto o del servizio in oggetto, incrementando – contemporaneamente – la soddisfazione dei consumatori, considerati una variabile sempre più esigente. D’altra parte, offrire un prodotto privo di difetti al cliente, nel modo più rapido ed affidabile possibile rispetto alla concorrenza, non sembrerebbe più rappresentare un vantaggio competitivo di cui si dota l’impresa, ma semplice espressione di un requisito necessario ed indispensabile per presentarsi ed operare sul mercato. Difatti, i clienti richiedono prodotti consegnati in modo coerente rispetto alle loro necessità ed aspettative più

velocemente, perfettamente in tempo e senza danni alcuni: perché ciò risulti materialmente possibile, un più stretto coordinamento con fornitori e distributori è oramai mandatorio. Sono proprio le relazioni ed i rapporti che intercorrono tra i protagonisti delle catene di approvvigionamento ad essere al centro dell'attenzione: l'orientamento globale e l'aumento della concorrenza basata sulle prestazioni, combinati con la tecnologia e le condizioni economiche in rapida evoluzione, contribuiscono tutti all'incertezza del mercato, motivo per il quale tale incertezza richiede da parte delle singole imprese e della catena di approvvigionamento una maggiore flessibilità, la quale – a sua volta – incide sulle relazioni in oggetto, richiedendo loro stesse una maggiore flessibilità nella gestione e nello sviluppo. A giustificare gli sforzi circa tale gestione è, prima tra tutte, la volontà di incrementare il vantaggio competitivo della catena di approvvigionamento stessa. Secondo alcuni autori il miglioramento del vantaggio competitivo e della redditività di un'azienda attraverso l'uso della SCM può essere realizzato aumentando la soddisfazione complessiva del consumatore, mirando a fornire un servizio clienti migliorato che ne incrementi il valore economico, possibile attraverso una gestione sincronizzata del flusso di beni fisici e di informazioni. Pertanto, si assume che l'implementazione della SCM incrementi il valore e la soddisfazione del consumatore, il che – a sua volta – porta ad un maggior vantaggio competitivo in seno alla catena di approvvigionamento, consentendo – in definitiva – un miglioramento circa la redditività della SCM nel suo complesso e dei suoi membri nello specifico. Ciononostante, la gestione della catena di approvvigionamento rappresenta una delle principali sfide per le aziende moderne alla luce della complessità dei suoi processi: dallo sviluppo del prodotto alla consegna dello stesso al cliente finale. Tutto ciò comporta – inevitabilmente – numerose difficoltà, le quali devono essere affrontate e risolte con l'obiettivo di garantire la soddisfazione del cliente e la competitività dell'azienda. Tra le principali criticità si annoverano le attività di pianificazione della produzione e dell'approvvigionamento dei materiali, la gestione degli stock ed il controllo delle scorte, così come i processi di logistica e distribuzione sono oggetto di problematiche per le aziende nello specifico. Da ultimo, le criticità maggiori riguardano anche le relazioni che intercorrono tra i diversi membri della supply chain. Tale situazione può porre in essere una serie di conflitti e tensioni all'interno della catena di approvvigionamento, influenzando negativamente l'efficienza e la qualità del prodotto finale: difatti, anche solo il comportamento

scorretto di uno dei membri, rischia di mettere in difficoltà le altre parti della catena. Si affrontano principalmente problemi di asimmetria informativa – laddove un membro detiene maggiori informazioni rispetto ad altri, potendole utilizzare a proprio vantaggio – e di azzardo morale. L’interesse nei confronti di tale tecnologia DLT (Distributed Ledger Technology) – come è già stato possibile investigare – risiede nella sua capacità di fornire una promettente alternativa all’attuale modello di fiducia che ha, a lungo, creato difficoltà ed inefficienze all’interno dei sistemi centralizzati. Difatti, le operazioni commerciali tradizionali si basano fortemente su un’autorità centralizzata o su terzi per promuovere e mantenere la fiducia tra i diversi membri della catena. Ciononostante, all’interno di un sistema fortemente centralizzato il maggior rischio è quello di essere bersaglio di attacchi dannosi, malfunzionamenti ed alterazioni artificiali. In tale contesto emerge, quindi, la tecnologia blockchain, la quale consentirebbe di ripensare completamente la progettazione delle operazioni aziendali in virtù delle sue peculiarità: consenso distribuito e decentramento. Di qui, l’implementazione della tecnologia blockchain al funzionamento della supply chain management rappresenta una delle più promettenti innovazioni degli ultimi anni: grazie alla sua capacità di creare registri distribuiti, sicuri ed immutabili, tale tecnologia consente di tracciare ogni fase della produzione e della distribuzione dei beni, migliorando aspetti quali trasparenza, efficienza e sicurezza, potendo essere applicata alle catene di approvvigionamento per i dati transazionali poiché le merci cambiano proprietà lungo la catena di approvvigionamento. D’altra parte, tale tecnologia – se implementata lungo i processi della supply chain – potrebbe aiutare a garantire la sicurezza dei dati, consentendo alle aziende di proteggere le informazioni sensibili e prevenire frodi o attacchi informatici. Oltretutto, è importante sottolineare che, anche in questo caso, gli smart contracts rappresentano un fattore chiave, potendo essere utilizzati per automatizzare le transazioni, garantendone – al contempo – la tutela e la sicurezza. E, poiché la blockchain con le sue caratteristiche uniche consente di generare processi aziendali più snelli ed una maggiore trasparenza e fiducia tra le parti interessate, esplorare la sua applicazione all’interno della catena di approvvigionamento, si dimostra necessario ed indispensabile. Tra gli aspetti che maggiormente subiscono l’influenza della tecnologia si annoverano: tracciabilità e trasparenza, collaborazione delle parti interessate, integrazione e digitalizzazione della supply chain management. La tracciabilità e la trasparenza rappresentano – ormai da tempo – questioni

critiche all'interno dell'attività di supply chain: difatti, tra le principali criticità si annoverano la presenza di intermediari *difficili*, passaggi di processo, operazioni aziendali eccessivamente centralizzate etc. La tecnologia blockchain può – come tecnologia condivisa distribuita – aiutare ad incrementare la tracciabilità e ad estendere la visibilità della catena di approvvigionamento in virtù del suo meccanismo di consenso condiviso e grazie alla presenza del libro mastro, di cui ciascun nodo detiene una copia identica. In questo modo, ogni singolo utente che partecipa alla piattaforma blockchain – che sia essa pubblica, privata o consortili a seconda delle necessità – convalida, in modo collaborativo (coinvolgendo tutti i partecipanti alla supply chain), i record delle transazioni nel registro comune: fornitori, produttori, distributori e clienti hanno, quindi, una duplicato della catena di blocchi ed il permesso di accedere alla stessa per monitorarne – costantemente – l'avanzamento dei flussi di processo. Di fondamentale importanza, ai fini dell'instaurazione di una maggiore fiducia e trasparenza, si dimostra l'immutabilità della transazioni. D'altra parte, colossi industriali come Walmart ed Everledeger hanno dimostrato – nel corso di questi anni – la capacità della tecnologia blockchain di migliorare la visibilità della distribuzione fisica, il trasferimento delle risorse e la garanzia della qualità. Gli accademici attestano come, la tecnologia blockchain si trovasse nelle condizioni di sfruttare il proprio potenziale laddove possa contare su una collaborazione che si estende su larga scala, coinvolgendo le parti interessanti. D'altra parte, è altrettanto noto che, l'attrito della supply chain e le sue principali criticità, possano essere ricondotte alla disconnessione – e, quindi, il mancato allineamento – che emerge tra le parti. In questo senso, la partecipazione congiunta dei membri della catena di approvvigionamento è capace di migliorare – sensibilmente – le prestazioni complessive di un ecosistema blockchain (Hald e Kinra, 2019). Ed è proprio nella collaborazione che si riscontra un forte ostacolo circa l'implementazione della tecnologia lungo i processi operativi e strategici della catena di approvvigionamento: i membri sono, infatti, abituati al meccanismo di fiducia sostenuto dalle autorità centrali, motivo per il quale hanno minore fiducia nell'efficacia di un paradigma che prevede un'assenza di fiducia, o meglio, un consenso distribuito. In ultima istanza emerge il tema della digitalizzazione e dell'integrazione dei sistemi, laddove la particolarità di tale sistema si concentra proprio sul potenziale digitale e tecnologico che viene implementato, in quanto le imprese – attraverso l'implementazione di tale tecnologia – hanno la possibilità di perseguire i propri obiettivi strategici grazie

all'integrazione dei processi dei numerosi e complesso processi aziendali. La supply chain si compone – come anticipato nei precedenti paragrafi – di una serie di attività interrelate ed interdipendenti: la possibilità di unificare queste attività rendendo noto ciascun processo – da monte a valle – ad ogni singolo attore della catena, consente una maggiore visibilità e consapevolezza a tutte le parti coinvolte, permettendo di intervenire – in qualsiasi momento – laddove necessario. Le motivazioni che si celano dietro l'interesse della tecnologia da parte delle realtà di business è da riscontrarsi in diversi fattori, i quali possono riassumersi nella necessità di dare un riscontro alle crescenti esigenze aziendali. Tra i fattori si evidenziano il soddisfacimento delle esigenze di parti interessate: ciascuna realtà aziendale si interfaccia con un elevato numero di stakeholder lungo l'intero processo di approvvigionamento. Ciascuna di queste realtà ha, quindi, l'obbligo di garantire trasparenza – in un contesto di rendicontazione – agli attori coinvolti. Frenare le pratiche commerciali illecite e migliorare le prestazioni in materia di sostenibilità rappresenta due aspetti di natura fondamentale. Nell'interesse delle imprese è che anche l'aumento dell'efficienza operativa, così come la possibilità di migliorare la gestione e le prestazioni della catena di approvvigionamento. Seguono, una serie di fattori ritenuti critici per il successo: perché questa serie di fattori possa, dunque, realizzarsi è necessario che le imprese prestino attenzione non solo all'implementazione teorica della tecnologia oggetto di indagine, ma che – del pari – di assicurino circa la sussistenza di una serie di aspetti: primo tra tutti la presenza e la volontà di collaborazione tra le parti, così come la dotazione tecnologica risulta essenziale.

In ultima istanza, dopo aver approfondito il tema della tecnologia avuto specifico riguardo le sue peculiarità ed il suo funzionamento, essendo passati poi a descrivere l'applicazione di quest'ultima alla supply chain management, è necessario soffermare l'attenzione sul focus e sull'oggetto del presente elaborato: la tecnologia blockchain implementata alla filiera agro-alimentare. La filiera agroalimentare rappresenta un sistema complesso ed integrato che, al pari di tutte le catene di approvvigionamento, coinvolge numerosi attori, a partire dalle aziende agricole fino ad arrivare ai produttori alimentari, tenendo in considerazione anche i cosiddetti trasformatori, i distributori ed i consumatori finali. Per quanto rappresenti un comparto strategico per l'economia mondiale, tale filiera presenta ancora una serie di criticità: in

particolare, la scarsa sostenibilità ambientale e la difficoltà nel garantire la sicurezza alimentare. È proprio alla luce di tali difficoltà che la tecnologia blockchain – grazie alle sue caratteristiche e peculiarità – ha rappresentato una possibilità per l'intero settore: una delle sfide principali di tale filiera è data dalla necessità di garantire la sostenibilità ambientale, in particolar modo alla luce delle linee guida poste a livello internazionale. D'altra parte, la sostenibilità ambientale rappresenta anche un'opportunità per l'innovazione nella filiera agroalimentare, attraverso l'adozione di pratiche agricole e di produzione ritenute maggiormente efficienti, ma a più basso impatto ambientale. Il dibattito sulla sostenibilità ambientale si è fatto sempre più intenso negli ultimi decenni, ed ha subito un'accelerazione incisiva a partire dal 2015, anno della diffusione dei cosiddetti Sustainable Development Goals (SDGs) da parte delle Nazioni Unite. Tali obiettivi – se ne annoverano 17 principalmente, e conseguentemente seguono numerosi target specifici – hanno ad oggetto il benessere mondiale, da quello ambientale a quello sociale. Sconfiggere la povertà (SDG 1), combattere la fame (SDG 2), consumare e produrre in maniera responsabile (SDG 12) o vita sulla terra (SDG 15), sono solo alcuni degli obiettivi che contribuiscono a scelte più sostenibili in termini di filiera agroalimentare. In particolar modo, l'obiettivo numero 12 'consumo e produzione responsabili' riassume una delle necessità più impellenti avuto riguardo tale catena di approvvigionamento. Un'ulteriore criticità della filiera agroalimentare riguarda la sicurezza alimentare, laddove perché sia garantita è indispensabile che le aziende – coinvolte lungo l'intera filiera – ricorrano a rigorose misure di controllo. Perché tali misure possano portare ai risultati sperati, è indispensabile che tutti gli attori coinvolti dimostrino la propria capacità di collaborazione, perseguendo l'obiettivo di affrontare le sfide del presente e del futuro, promuovendo un'agricoltura ed una produzione alimentare sicura e di massima qualità. Oltretutto, crescente è l'attenzione dei consumatori alla qualità ed alla provenienza dei prodotti alimentari, motivo per il quale – ad oggi – il vantaggio competitivo delle singole imprese può essere mantenuto esclusivamente alla luce di un concerto di sforzi maggiore. Dunque, in virtù del potenziale insito nella tecnologia, avuto specifico riguardo il sistema di tracciabilità, si assume che la blockchain possa incrementare il valore delle catene agroalimentari, incoraggiando la prevenzione delle frodi, garantendo il rispetto delle normative e, da ultimo, migliorando la qualità delle informazioni. In particolar modo, la tecnologia in oggetto sarebbe capace di aiutare a stabilire un rapporto di fiducia tra produttori e consumatori,

permettendo a questi ultimi di prendere decisioni maggiormente informate sui prodotti che acquistano e, quindi, sulle aziende da sostenere. Difatti, i consumatori sono diventati sempre più diffidenti e chiedono maggiori informazioni circa la sicurezza alimentare, la sostenibilità e l'origine dei prodotti acquistati e consumati. Quest'ultima si è rivelata essere, nel corso degli anni, una delle informazioni più importanti da rintracciare, non solo in termini di salute alimentare, ma anche di rispetto delle normative e di diritti dei lavoratori. Tutto ciò fa sì che, perché le aziende agroalimentari riescano ad incrementare il flusso e la soddisfazione dei propri consumatori, sia necessario investire in strumenti che permettano di raggiungere l'obiettivo soprastante: dare vita ad una filiera trasparente. In tale contesto, è proprio la blockchain a dimostrarsi la tecnologia più adatta alla tracciabilità degli alimenti: quest'ultima incrementa la trasparenza creando una registrazione immutabile della vita dei prodotti, dal raccolto alla tavola. Tra i passaggi più importanti del processo di tracciamento si annovera l'inserimento dei dati nella blockchain, proprio perché rappresenta l'aspetto che, con maggiore facilità, può essere manomesso. Proprio per questo motivo, tale fase – la più delicata – prevede l'implementazione di diverse strategie, quali l'uso di sensori Internet of Things, sensori GPS oppure i cosiddetti oracoli, ovvero intermediari fidati che collegano il mondo reale alla blockchain, permettendogli di acquisire informazioni e caricarle autonomamente all'interno della piattaforma.

Nell'ambito dell'utilizzo della blockchain nel settore agro-alimentare, un precursore di fondamentale importanza si incarna in IBM, acronimo di International Business Machines Corporation, espressione di un'azienda americana il cui core business si sostanzia nell'ambito tecnologico con sede ad Armonk, New York. Proprio alla luce della sua capacità di dar vita ad innovazioni dirompenti, IBM non poteva esimersi dell'onere di sviluppare una delle prime piattaforme blockchain per il settore agroalimentare. La piattaforma IBM Food Trust è stata lanciata nel 2018 ed adottata, nel corso degli anni, da diverse aziende alimentari, leader del settore: Walmart, Nestlé, Tyson Foods, Carrefour e Dole Food Company. Lo scopo ultimo di IBM è stato quello di fornire ai propri utenti una piattaforma capace di registrare informazioni sulla filiera alimentare, come la provenienza degli ingredienti, le condizioni di trasporto e di stoccaggio, i test di qualità o di sicurezza. Queste informazioni vengono memorizzate in modo permanente sulla blockchain, consentendo a tutti gli attori coinvolti lungo la supply chain di

riferimento di accedere ad informazioni aggiornate, verificandole in modo indipendente. Un'ulteriore particolarità, capace di rendere dirompente tale innovazione, si dimostra la capacità di IBM Food Trust di utilizzare l'intelligenza artificiale per analizzare i dati sulla filiera alimentare, fornendo informazioni dettagliate sulle prestazioni della catena di approvvigionamento stessa: il tempo di consegna, i costi o la qualità dei prodotti sono solo alcune delle informazioni che è possibile reperire. Proprio in virtù di una collaborazione che vede protagoniste IBM Food Trust da un lato ed Apio S.r.l. dall'altro, nascerà Trusty, una piattaforma Software as a Service volta a migliorare il coinvolgimento dei clienti, consentendo di sviluppare – in particolar modo – la brand equity aziendale ed aiutando queste piccole realtà a migliorare l'esperienza dei loro consumatori per tramite della divulgazione completa circa la provenienza del prodotto o gli ingredienti di cui si compone, semplicemente scannerizzando un codice QR per poter visionare l'intera catena di approvvigionamento. La blockchain viene, quindi, implementata per verificare e proteggere tutte le informazioni che riguardano il prodotto. L'obiettivo di Apio S.r.l., quindi, è quello di vendere alle aziende alimentari una piattaforma di gestione della catena di fornitura e della tracciabilità end-to-end (appunto, Trusty) in grado di migliorare le relazioni tra gli attori della catena di fornitura e di condividere informazioni verificabili con gli enti di certificazione, i consumatori, le ONG e gli altri stakeholder.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Agarwal, U., Rishiwal, V., Tanwar, S., Chaudhary, R., Sharma, G., Bokoro, P. N., & Sharma, R. (2022). Blockchain technology for secure supply chain management: A comprehensive review. *IEEE Access*.
2. Aggarwal, S., & Kumar, N. (2021). History of blockchain-blockchain 1.0: Currency. In *Advances in Computers* (Vol. 121, pp. 147-169). Elsevier.
3. Alobid, M., Abujudeh, S., & Szűcs, I. (2022). The role of blockchain in revolutionizing the agricultural sector. *Sustainability*, *14*(7), 4313.
4. Ammous S. (2016) Blockchain Technology: What is it Good for? Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2832751> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2832751> [Accessed: March 23, 2023]
5. Amsyar, I., Christopher, E., Dithi, A., Khan, A. N., & Maulana, S. (2020). The Challenge of Cryptocurrency in the Era of the Digital Revolution: A Review of Systematic Literature. *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, *2*(2), 153-159.
6. Anderson, J. C., & Narus, J. A. (1990). A model of distributor firm and manufacturer firm working partnerships. *Journal of marketing*, *54*(1), 42-58.
7. Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., ... & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and sustainable energy reviews*, *100*, 143-174.
8. Andreev, R. A., Andreeva, P. A., Krotov, L. N., & Krotova, E. L. (2018). Review of blockchain technology: types of blockchain and their application. *Intellekt. Sist. Proizv.*, *16*(1), 11-14.
9. Antonopoulos, A. M. (2014). *Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies*. "O'Reilly Media, Inc."
10. Antonopoulos, A. M. (2014). *Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies*. "O'Reilly Media, Inc."
11. Antonopoulos, A. M., & Wood, G. (2018). *Mastering ethereum: building smart contracts and dapps*. O'reilly Media.

12. Āriņš, A. (2019). Blockchain architecture in Smart pedagogy. *Innovations, Technologies and Research in Education*, 207.
13. Astarita, V., Giofrè, V. P., Mirabelli, G., & Solina, V. (2019). A review of blockchain-based systems in transportation. *Information*, 11(1), 21.
14. Atzei, N., Bartoletti, M., & Cimoli, T. (2017). A survey of attacks on ethereum smart contracts (sok). In *Principles of Security and Trust: 6th International Conference, POST 2017, Held as Part of the European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2017, Uppsala, Sweden, April 22-29, 2017, Proceedings 6* (pp. 164-186). Springer Berlin Heidelberg.
15. Back, A. (2002). Hashcash-a denial of service counter-measure. Available at: <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf> [Accessed: March 22, 2023]
16. Badzar, A. (2016). Blockchain for securing sustainable transport contracts and supply chain transparency-An explorative study of blockchain technology in logistics.
17. Batta, A., Gandhi, M., Kar, A. K., Loganayagam, N., & Ilavarasan, V. (2021). Diffusion of blockchain in logistics and transportation industry: an analysis through the synthesis of academic and trade literature. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 12(3), 378-398.
18. Belotti, M., Božić, N., Pujolle, G., & Secci, S. (2019). A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3796-3838.
19. Bianchi, R., Ranalli, J., & Chiap, G. (2019). Blockchain: tecnologia e applicazioni per il business. *Blockchain*, 1-225.
20. Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of economic Perspectives*, 29(2), 213-238.
21. Bouichou, A., Mezroui, S., & El Oualkadi, A. (2020). An overview of ethereum and solidity vulnerabilities. In *2020 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)* (pp. 1-7). IEEE.
22. Bucklin, L. P., & Sengupta, S. (1993). Organizing successful co-marketing alliances. *Journal of marketing*, 57(2), 32-46.

23. Bürer, M. J., de Lapparent, M., Pallotta, V., Capezzali, M., & Carpita, M. (2019). Use cases for blockchain in the energy industry opportunities of emerging business models and related risks. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106002.
24. Buterin, V. (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform. *white paper*, 3(37), 2-1. Available at: <https://ethereum.org/whitepaper/>
25. Camp, L. J., Sirbu, M., Tygar, J. D., Jean, L., Marvin, C., & Tygar, S. J. (1995). Token and notational money in electronic commerce. In *In Proceedings of the First USENIX Workshop in Electronic Commerce*.
26. Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International journal of physical distribution & logistics management*.
27. Chan, F. T., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C., & Choy, K. (2008). Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. *International Journal of production research*, 46(14), 3825-3857.
28. Chang, S. E., & Chen, Y. (2020). When blockchain meets supply chain: A systematic literature review on current development and potential applications. *Ieee Access*, 8, 62478-62494.
29. Chaum, D. (1983). Blind signatures for untraceable payments. In *Advances in Cryptology: Proceedings of Crypto 82* (pp. 199-203). Springer US.
30. Chaum, D. (1983). Blind signatures for untraceable payments. In *Advances in Cryptology: Proceedings of Crypto 82* (pp. 199-203). Springer US.
31. Chaum, D. L. (1981). Untraceable electronic mail, return addresses, and digital pseudonyms. *Communications of the ACM*, 24(2), 84-90.
32. Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of operations management*, 22(2), 119-150.
33. Chopra, S., & Meindl, P. (2001). Strategy, planning, and operation. *Supply Chain Management*, 13-17.
34. Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. Pearson Uk.
35. Christopher, M. L. (1992), *Logistics and Supply Chain Management*, London: Pitman Publishing.

36. Christopher, M., & Towill, D. (2001). An integrated model for the design of agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
37. Cocco, L., Pinna, A., & Marchesi, M. (2017). Banking on blockchain: Costs savings thanks to the blockchain technology. *Future internet*, 9(3), 25.
38. Comandini, G. L. (2020). *Da Zero alla Luna. La Blockchain: quando, come, perché sta cambiando il mondo*. Dario Flaccovio Editore.
39. Compagnucci, L., Lepore, D., Spigarelli, F., Frontoni, E., Baldi, M., & Di Bernardino, L. (2022). Uncovering the potential of blockchain in the agri-food supply chain: An interdisciplinary case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 65, 101700.
40. Cooper, M. C., & Ellram, L. M. (1993). Characteristics of supply chain management and the implications for purchasing and logistics strategy. *The international journal of logistics management*, 4(2), 13-24.
41. Cooper, Martha C., Douglas M. Lambert e Janus D. Pagh (1997), "Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics", *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-14.
42. Cooper, Martha, Lisa M. Ellram, John T. Gardner e Albert M. Hanks (1997), "Meshing Multiple Alliances", *Journal of Business Logistics*, Vol. 18, No. 1, pp. 67-89.
43. Cox, A. (1999). Power, value and supply chain management. *Supply chain management: An international journal*, 4(4), 167-175.
44. Dannen, C. (2017). *Introducing Ethereum and solidity* (Vol. 1, pp. 159-160). Berkeley: Apress.
45. Demestichas, K., Peppes, N., Alexakis, T., & Adamopoulou, E. (2020). Blockchain in agriculture traceability systems: A review. *Applied Sciences*, 10(12), 4113.
46. Di Pierro, M. (2017). What is the blockchain?. *Computing in Science & Engineering*, 19(5), 92-95.
47. Dolgui, A., Ivanov, D., Potryasaev, S., Sokolov, B., Ivanova, M., & Werner, F. (2020). Blockchain-oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2184-2199.

48. Dreier, J., Kassem, A., & Lafourcade, P. (2015, July). Formal analysis of e-cash protocols. In *2015 12th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (ICETE)* (Vol. 4, pp. 65-75). IEEE.
49. Dutra, A., Tumasjan, A., & Welp, I. M. (2018). Blockchain is changing how media and entertainment companies compete. *MIT Sloan Management Review*.
50. Dutta, P., Choi, T. M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation research part e: Logistics and transportation review*, *142*, 102067.
51. Dwyer, F. R., Schurr, P. H., & Oh, S. (1987). Developing buyer-seller relationships. *Journal of marketing*, *51*(2), 11-27.
52. Ellram, Lisa M. e Martha C. Cooper (1990), "Supply Chain Management, Partnerships, and the Shipper-Third-Party Relationship", *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 1, No. 2, pp. 1-10.
53. Elrom, E., & Elrom, E. (2019). Blockchain Nodes. *The Blockchain Developer: A Practical Guide for Designing, Implementing, Publishing, Testing, and Securing Distributed Blockchain-based Projects*, 31-72.
54. Fedorova, E. P., & Skobleva, E. I. (2020). Application of blockchain technology in higher education. *European Journal of Contemporary Education*, *9*(3), 552-571.
55. Ferri, C. (2020). *Blockchain & Made In Italy*. Mondadori Libri Trade Electa.
56. Finney, H. (2004). RPOW – Reusable Proofs of Work. Retrieved from <https://nakamotoinstitute.org/rpow/>
57. Frikha, T., Chaabane, F., Aouinti, N., Cheikhrouhou, O., Ben Amor, N., & Kerrouche, A. (2021). Implementation of blockchain consensus algorithm on embedded architecture. *Security and Communication Networks*, *2021*, 1-11.
58. Fugate, B., Sahin, F., & Mentzer, J. T. (2006). Supply chain management coordination mechanisms. *Journal of business logistics*, *27*(2), 129-161.
59. Furness, W. H. (1910). *The island of stone money, Uap of the Carolines*. JB Lippincott Company.
60. Gabashvili, N., Gabashvili, T., & Kiknadze, M. (2022). FROM PAPER CONTRACTS TO SMART CONTRACTS. *Sciences of Europe*, (107), 124-127.

61. Ganesan, S. (1994). Determinants of long-term orientation in buyer-seller relationships. *Journal of marketing*, 58(2), 1-19.
62. Garcia-Teruel, R. M. (2020). Legal challenges and opportunities of blockchain technology in the real estate sector. *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, 12(2), 129-145.
63. Garcia, D. J., & You, F. (2015). Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 81, 153-170.
64. Gaudenzi, B., & Christopher, M. (2016). Achieving supply chain 'Leagility' through a project management orientation. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 3-18.
65. Ge, L., Brewster, C., Spek, J., Smeenk, A., Top, J., van Diepen, F., ... & de Wildt, M. D. R. (2017). *Blockchain for agriculture and food: Findings from the pilot study* (No. 2017-112). Wageningen Economic Research.
66. Gentle, P. F. (2021). Stone money of Yap as an early form of money in the economic sense
67. Ghelani, D. (2022). What is Non-fungible token (NFT)? A short discussion about NFT Terms used in NFT. *Authorea Preprints*.
68. Giglio, V. (2009). Gli aiuti di Stato alle banche nel contesto della crisi finanziaria. *Mercato concorrenza regole*, 11(1), 23-36.
69. Giunipero, L., Handfield, R. B., & Eltantawy, R. (2006). Supply management's evolution: key skill sets for the supply manager of the future. *International Journal of Operations & Production Management*.
70. Hald, K. S., & Kinra, A. (2019). How the blockchain enables and constrains supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
71. Handfield, R. B., & Bechtel, C. (2002). The role of trust and relationship structure in improving supply chain responsiveness. *Industrial marketing management*, 31(4), 367-382.

72. Hasan, H., AlHadhrami, E., AlDhaheri, A., Salah, K., & Jayaraman, R. (2019). Smart contract-based approach for efficient shipment management. *Computers & industrial engineering*, *136*, 149-159.
73. Hassan, A., Ali, M. I., Ahammed, R., Khan, M. M., Alsufyani, N., & Alsufyani, A. (2021). Secured insurance framework using blockchain and smart contract. *Scientific Programming*, *2021*, 1-11.
74. Hastig, G. M., & Sodhi, M. S. (2020). Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors. *Production and Operations Management*, *29*(4), 935-954.
75. Helliar, C. V., Crawford, L., Rocca, L., Teodori, C., & Veneziani, M. (2020). Permissionless and permissioned blockchain diffusion. *International Journal of Information Management*, *54*, 102136.
76. Iakovlev, A. I., & Kruglova, I. A. (2021, August). How the foundations of the crypto-economy methodology were formed. In *2021 International Conference Engineering Technologies and Computer Science (EnT)* (pp. 80-85). IEEE.
77. IBM Supply Chain Intelligence Suite: Food Trust, Official Website. Available at <https://www.ibm.com/it-it/products/supply-chain-intelligence-suite/food-trust>
78. Ichikawa, D., Kashiyama, M., & Ueno, T. (2017). Tamper-resistant mobile health using blockchain technology. *JMIR mHealth and uHealth*, *5*(7), e7938.
79. Islam, N., Marinakis, Y., Olson, S., White, R., & Walsh, S. (2021). Is blockchain mining profitable in the long run?. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
80. Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani. Available at: <https://www.treccani.it/>
81. Jansen, M., Hdhili, F., Gouiaa, R., & Qasem, Z. (2020). Do smart contract languages need to be turing complete?. In *Blockchain and Applications: International Congress* (pp. 19-26). Springer International Publishing.
- 82.** Jones, T. C., & Riley, D. W. (1985). Using inventory for competitive advantage through supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, *15*(5), 16-26.
83. King, S., & Nadal, S. (2012). Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. *self-published paper*, *August*, *19*(1).

84. Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of information management*, 39, 80-89.
85. Kshetri, N. (2021). *Blockchain and supply chain management*. Elsevier.
86. Kumar, V., & Reinartz, W. (2018). *Customer relationship management*. Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2006, 2012, 2018.
87. Kuo, T. T., Kim, H. E., & Ohno-Machado, L. (2017). Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 24(6), 1211-1220.
88. Kuo, T. T., Zavaleta Rojas, H., & Ohno-Machado, L. (2019). Comparison of blockchain platforms: a systematic review and healthcare examples. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 26(5), 462-478.
89. La Londe, B. J., & Masters, J. M. (1994). Emerging logistics strategies: blueprints for the next century. *International journal of physical distribution & logistics management*.
90. Lambert, D., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of logistics management*. McGraw-Hill/Irwin.
91. Langley, C. J., Novack, R. A., Gibson, B., & Coyle, J. J. (2020). *Supply chain management: a logistics perspective*. Cengage Learning.
92. Leona, A. (2018). Bitcoin, criptoalute e blockchain: bolla o nuovo paradigma?. *Bitcoin, criptoalute e blockchain: bolla o nuovo paradigma?*, 163-177.
93. Li, J., & Kassem, M. (2021). Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction. *Automation in construction*, 132, 103955.
94. Li, Z. P., Ceong, H. T., & Lee, S. J. (2021). The effect of blockchain operation capabilities on competitive performance in supply chain management. *Sustainability*, 13(21), 12078.
95. Luther, W. J. (2016). Bitcoin and the future of digital payments. *The Independent Review*, 20(3), 397-404.
96. Malik, S., Dedeoglu, V., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2019). Trustchain: Trust management in blockchain and iot supported supply chains. In *2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)* (pp. 184-193). IEEE.

97. Mancini, M. (2015). Valute virtuali e Bitcoin. *Analisi Giuridica dell'Economia*, 14(1), 117-138.
98. Marshall, J. M. (1976). Moral hazard. *The American Economic Review*, 66(5), 880-890.
99. McGhin, T., Choo, K. K. R., Liu, C. Z., & He, D. (2019). Blockchain in healthcare applications: Research challenges and opportunities. *Journal of Network and Computer Applications*, 135, 62-75.
100. McKinsey (2022). What is Supply Chain? McKinsey & Company Website.
101. Mejttoft, T. (2011, October). Internet of Things and Co-creation of Value. In *2011 International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing* (pp. 672-677). IEEE.
102. Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.
103. Meunier, S. (2018). Blockchain 101: What is blockchain and how does this revolutionary technology work?. In *Transforming climate finance and green investment with Blockchains* (pp. 23-34). Academic Press.
104. Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2020). *Purchasing and supply chain management*. Cengage Learning.
105. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized business review*, 21260. Available at: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> [Accessed: March 21, 2023]
106. Narayanan, A. (2013). What happened to the crypto dream?, part 1. *IEEE security & privacy*, 11(2), 75-76.
107. Narayanan, A., & Clark, J. (2017). Bitcoin's academic pedigree. *Communications of the ACM*, 60(12), 36-45.
108. Neisse, R., Steri, G., & Nai-Fovino, I. (2017). A blockchain-based approach for data accountability and provenance tracking. In *Proceedings of the 12th international conference on availability, reliability and security* (pp. 1-10).
109. Nguyen, H. (2018). Sustainable food systems: concept and framework'. Food and Agriculture Organization

110. Oliveira, L., Zavolokina, L., Bauer, I., & Schwabe, G. (2018, December). To token or not to token: Tools for understanding blockchain tokens. ICIS.
111. Oliver, R. K., & Webber, M. D. (1982). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. *Outlook*, 5(1), 42-47.
112. Pastificio Mancini, Official Website. Available at: <https://www.pastamancini.com>
113. Popper, N. (2015). Decoding the enigma of Satoshi Nakamoto and the birth of Bitcoin. *New York Times*, 15.
114. Ramiro, A., & de Queiroz, R. (2022). Cypherpunk. *Internet Policy Review*, 11(2).
115. Rodeck, D., & Curry, B. (2022). What Is Blockchain? Forbes. Available at: <https://www.forbes.com/advisor/investing/cryptocurrency/what-is-blockchain/>
[Accessed: March 22, 2023]
116. Romano Pietro, Pamela Danese “Supply Chain Management: la gestione dei processi di fornitura e distribuzione” McGraw-Hill, Milano 2010.
117. Ross, D. F. (1998). Meeting the challenge of supply chain management. In *Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships* (pp. 1-35). Boston, MA: Springer US.
118. Ruzza, D., Morandini, L., & Chelli, A. (2022). Blockchain Application to the SMEs in the Food Industry: Trusty Case Study. In *Blockchain Technology Applications in Businesses and Organizations* (pp. 19-42). IGI Global.
119. Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of operations management*, 21(2), 129-149.
120. Shakhbulatov, D., Arora, A., Dong, Z., & Rojas-Cessa, R. (2019). Blockchain implementation for analysis of carbon footprint across food supply chain. In *2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)* (pp. 546-551). IEEE.
121. Skiba, D. J. (2017). The potential of blockchain in education and health care. *Nursing education perspectives*, 38(4), 220-221.

122. Solat, S., Calvez, P., & Naït-Abdesselam, F. (2021). Permissioned vs. Permissionless Blockchain: How and Why There Is Only One Right Choice. *J. Softw.*, 16(3), 95-106.
123. Stadtler, H. (2015). Supply chain management: An overview. *Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software, and case studies*, 3-28.
124. Stevens, G. C. (1989). Integrating the supply chain. *international Journal of physical distribution & Materials Management*, 19(8), 3-8.
125. Sušnik, J., & Sinkovič, T. (2018). Blockchain technology in logistics: A case study. *Transport problems*, 13(2), 131-141.
126. Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. " O'Reilly Media, Inc."
127. Sylvester, G. (2019). *E-agriculture in action: blockchain for agriculture, opportunities and challenges*. FAO.
128. Szabo, N. (1994). The idea of smart contract.
129. Szabo, N. (1996). Smart contracts: building blocks for digital markets. *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*, (16), 18(2), 28.
130. Szabo, N. (2005). Bit gold. *Recuperado de <https://nakamotoinstitute.org/bit-gold/TVer página>*.
131. Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin.
132. Tikhomirov, S. (2018). Ethereum: state of knowledge and research perspectives. In *Foundations and Practice of Security: 10th International Symposium, FPS 2017, Nancy, France, October 23-25, 2017, Revised Selected Papers 10* (pp. 206-221). Springer International Publishing.
133. Toyoda, K., Mathiopoulos, P. T., Sasase, I., & Ohtsuki, T. (2017). A novel blockchain-based product ownership management system (POMS) for anti-counterfeits in the post supply chain. *IEEE access*, 5, 17465-17477.
134. Trusty, Official Website. Available at: <https://www.trusty.id/>

135. Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy—a review. *Journal of cleaner production*, 97, 76-91.
136. Tyndall, G., Gopal, C., Partsch, W., & Kamauff, J. (1998). *Supercharging supply chains. New ways to increase value through global operational excellence.*
137. Vergine, S., & Bortolotti, A. (2021). Blockchain, il futuro in blocchi. *Economia Comportamentale*.
138. Vern, P., Miftah, N., & Panghal, A. (2022). Digital technology: Implementation challenges and strategies in agri-food supply chain. In *Agri-Food 4.0*. Emerald Publishing Limited.
139. Viriyasitavat, W., & Hoonsopon, D. (2019). Blockchain characteristics and consensus in modern business processes. *Journal of Industrial Information Integration*, 13, 32-39.
140. Walton, J. L. (2022). Bitcoin and stone money: Anglophone use of Yapese economic cultures, 1910-2020. *Finance and Society*, 8(1), 42-66.
141. Wang, A. W. (2018). *Crypto economy: How blockchain, cryptocurrency, and token-economy are disrupting the financial world*. Simon and Schuster.
142. Wang, S., Ouyang, L., Yuan, Y., Ni, X., Han, X., & Wang, F. Y. (2019). Blockchain-enabled smart contracts: architecture, applications, and future trends. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(11), 2266-2277.
143. Warren, S., Deshmukh, S., Whitehouse, S., Treat, D., Worley, A., Herzig, J., ... & Nolting, G. (2019). Building value with blockchain technology: How to evaluate blockchain's benefits. World Economic Forum.
144. White, L. H. (1984). *The methodology of the Austrian school economists*. Ludwig von Mises Institute of Auburn University.
145. Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Simon and Schuster.
146. Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. *Ethereum project yellow paper*, 151(2014), 1-32.

147. Wouda, H. P., & Opdenakker, R. (2019). Blockchain technology in commercial real estate transactions. *Journal of property investment & Finance*.
148. Zhang, R., Xue, R., & Liu, L. (2019). Security and privacy on blockchain. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(3), 1-34.
149. Zou, W., Lo, D., Kochhar, P. S., Le, X. B. D., Xia, X., Feng, Y., ... & Xu, B. (2019). Smart contract development: Challenges and opportunities. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 47(10), 2084-2106.