

Cattedra: Dinamiche Industriali

Blockchain e la trasformazione
industriale: Il nuovo paradigma
della quarta rivoluzione
tecnologica

Prof. Fabrizio Pompei

RELATORE

Prof.ssa Valentina Meliciani

CORRELATORE

Precchiazzi Matteo

CANDIDATO

Matricola: 750821

Anno Accademico 2022/2023

ABSTRACT

È stata chiamata Quarta Rivoluzione Industriale, l'insieme di tecnologie basate su digitalizzazione e interconnessione, che sta caratterizzando i processi produttivi e le dinamiche sociali del XXI° secolo. Questa rivoluzione digitale è alimentata da tecnologie all'avanguardia come la blockchain, la quale mostra il potenziale per poter essere ricordata come un nuovo paradigma tecnologico. In questo elaborato, dopo aver effettuato una breve analisi su quelle che sono state le precedenti rivoluzioni tecnologiche, abbiamo analizzato le varie tecnologie appartenenti alla quarta rivoluzione industriale evidenziando le loro caratteristiche specifiche ed il loro funzionamento.

Nel secondo capitolo abbiamo effettuato un focus sulla tecnologia blockchain andando in prima battuta ad analizzare la sua origine per poi concentrarci sulla struttura, il suo funzionamento e le caratteristiche intrinseche che la rendono particolarmente interessante. Abbiamo, inoltre, analizzato i vari campi di applicazione della tecnologia blockchain andando a presentare le motivazioni ed i vantaggi che le diverse industrie possono trarre dall'utilizzo della stessa nelle loro imprese.

Nel terzo capitolo abbiamo concentrato la nostra attenzione sul settore manifatturiero ed analizzato il potenziale trasformativo che la tecnologia blockchain potrebbe avere su di esso. Infine, abbiamo analizzato i casi studio di "Bu Bu Chicken" e "Shan Liang Taste" le quali rappresentano esempi significativi dell'applicazione della tecnologia blockchain nella gestione della filiera agroalimentare per giungere alla conclusione che seppur il potenziale della blockchain resta elevato è l'intero cluster delle tecnologie dell'industria 4.0 a poter rappresentare un nuovo paradigma tecnologico.

INDICE

Capitolo 1:	Introduzione alla quarta rivoluzione industriale	4
1.1	Le precedenti rivoluzioni industriali	6
1.2	Le tecnologie, i vantaggi e gli svantaggi dell'industria 4.0	14
Capitolo 2:	La blockchain	32
2.1	L'origine della blockchain	32
2.2	Il problema dei generali bizantini	36
2.3	La struttura della blockchain	37
2.4	La soluzione al problema del double spending	45
2.5	Meccanismi di consenso	47
2.6	Smart Contract	49
2.7	Gli ambiti applicativi della blockchain	53
Capitolo 3:	Il settore manifatturiero: Introduzione	64
3.1	Il potenziale trasformativo della tecnologia blockchain nel settore manifatturiero	66
3.2	Gestione della filiera agroalimentare su blockchain	78
Conclusioni:		84
Bibliografia:		87
Ringraziamenti:		90

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE ALLA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

Il presente capitolo intende offrire una disamina in merito all'evoluzione delle industrie, partendo da una panoramica storica ed analizzando le fasi salienti che hanno contribuito al cambiamento nel corso del tempo delle politiche industriali adottate dalle imprese e l'impatto sociale conseguentemente generato. Successivamente saranno analizzate le tecnologie più rappresentative della nuova rivoluzione industriale ed i limiti di applicazione che possono riscontrarsi nell'industria 4.0.

Klaus Schwab, fondatore e presidente esecutivo del World Economic Forum, ha pubblicato un libro intitolato "The Fourth Industrial Revolution" nel gennaio 2016. Da allora, il termine "Quarta rivoluzione industriale" (4IR) è stato utilizzato per analizzare l'influenza delle nuove tecnologie su vari aspetti dello sviluppo umano nel corso del XXI° secolo. Ciò include cambiamenti nelle norme sociali, negli atteggiamenti politici, nello sviluppo economico ed industriale e nelle relazioni internazionali. Il concetto di quarta rivoluzione industriale implica che i progressi tecnologici abbiano un impatto su tutte le industrie e le aree della società. Sottolinea inoltre l'idea che ad un certo momento storico, determinati insiemi di tecnologie si combinano per determinare trasformazioni significative, risultando in nuovi modi di percepire, agire ed essere. Le rivoluzioni industriali sono più che semplici cambiamenti incrementali nell'efficienza; sono cambiamenti rivoluzionari nei sistemi che ci circondano e nella complessa interazione tra umani e tecnologia. La trasformazione risulterà in nuovi modi di percepire, agire ed essere.

La dicitura "quarta rivoluzione tecnologica" è spesso usata come sinonimo di Industria 4.0 ma seppur questi due termini hanno una stretta relazione, descrivono due aspetti differenti. L'industria 4.0 è un'importante componente della più grande estensione della quarta

rivoluzione industriale, la quale si può manifestare attraverso i più svariati campi di applicazione come la digitalizzazione, la trasformazione organizzativa, i sistemi di produzione e tanti altri.

Fondamentalmente, la quarta rivoluzione industriale rappresenta una serie di significativi cambiamenti nel modo in cui i valori sociali, politici ed economici vengono creati, scambiati e distribuiti.

“Questi cambiamenti di valori sono intimamente legati all'emergere di nuove tecnologie che abbracciano il mondo digitale, fisico e biologico e sono i più potenti quando si combinano e si rafforzano a vicenda (Philbeck e Davis, 2018).”

Il prefisso ordinale “quarta” è importante perché l’era della storia tecnologica che stiamo vivendo si vuole identificare diversa dalle tre precedenti, compresa quella che ha già caratterizzato una prima fase dell’economia dell’informazione, più dettagliatamente identificata come terza rivoluzione industriale, che si è basata anch’essa sulle tecnologie digitali dell’informazione.

La quarta rivoluzione industriale si basa oggi su un più rapido scambio di informazioni e una pervasiva interconnessione, rese possibili dalle tecnologie digitali della Terza Rivoluzione Industriale che a loro volta si basavano sui sistemi elettrici e di telecomunicazione al centro della Seconda Rivoluzione Industriale.

Oggi, la combinazione di potenti algoritmi di apprendimento automatico, sensori a basso costo e attuatori avanzati consente alle tecnologie di integrarsi perfettamente nel nostro ambiente fisico. Inoltre, se combinati con approcci avanzati di immagine, elaborazione del segnale e modifica genetica, hanno il potenziale per influenzare la nostra condizione fisiologica e le nostre facoltà cognitive.

Le tecnologie che vediamo guidare il cambiamento stanno formando uno strato fertile di innovazione che poggia su solide basi digitali. Queste tecnologie come robotica, stampanti

3D, modificazioni genetiche, Internet of things, droni, neuro tecnologie, blockchain, veicoli autonomi, intelligenza artificiale e visione artificiale si stanno sempre più integrando nei nostri spazi fisici, sociali e politici, alterando comportamenti e relazioni. I risultati dello sviluppo e della commercializzazione in corso e dell'adozione di tecnologie emergenti sono rilevanti e vanno ben oltre i prodotti che ci semplificano la vita, infatti questi riflettono una serie fondamentale di cambiamenti nell'identità umana e una ristrutturazione dei modi in cui viviamo il mondo .

1.1 LE PRECEDENTI RIVOLUZIONI INDUSTRIALI

La storia è fatta di momenti cruciali, punti di non ritorno che hanno cambiato irreversibilmente il futuro di chi li ha vissuti e delle generazioni future. Le rivoluzioni industriali vanno oltre la semplice introduzione di nuove tecnologie perché riguardano fenomeni sistemici che fanno compiere salti quantitativi e qualitativi nei sentieri di sviluppo delle economie. Vale a dire che i cambiamenti tecnologici sono interconnessi con le più ampie trasformazioni sociali e portano cambiamenti che vanno oltre i singoli progressi tecnologici, in quanto alterano interi sistemi. Il mondo industrializzato e moderno, come lo conosciamo oggi, ha vissuto negli ultimi trecento anni tre momenti di assoluta natura “distruttiva”; e durante gli anni '10 e '20 del ventunesimo secolo si è in procinto di viverne un quarto; potremo addirittura dire di essere già “spettatori” del cambiamento in corso.

La prima rivoluzione industriale fu un periodo di significativi cambiamenti economici, tecnologici e sociali, che ebbe inizio alla fine del XVIII secolo in Gran Bretagna per poi diffondersi in altre parti del mondo come in Europa e negli USA. Precedentemente a quel periodo, i prodotti venivano realizzati in laboratori a conduzione familiare da artigiani e dai loro apprendisti. In particolar modo, il processo produttivo dell'industria tessile avveniva secondo il cosiddetto “sistema domestico”. I mercanti dopo essersi procurati le materie prime impiegavano il lavoro dei contadini e delle loro famiglie nella lavorazione delle stesse, per poi rivendere il prodotto ad altri mercanti che utilizzavano il medesimo sistema per le

successive fasi della filiera produttiva. L'elemento caratterizzante di quell'era è che i processi produttivi sfruttavano esclusivamente la forza dell'uomo ed erano svolti in casa; solo dopo l'intuizione di riunirli all'interno di uno stesso luogo, nacque la "fabbrica" così come la conosciamo oggi.

Lo sviluppo della produzione tessile meccanizzata, della forza del vapore e l'uso del ferro e del carbone nella produzione hanno cambiato per sempre il processo di produzione dei beni. L'emergere di queste nuove tecnologie e metodi di produzione ha portato ad un aumento della produttività, dell'efficienza ed alla nascita dell'industria. L'incremento dei volumi prodotti richiedeva notevole forza lavoro e questo si è direttamente trasformato in milioni di nuovi posti di lavoro. Quest'era ha visto anche l'emergere di nuovi sistemi di trasporto, come canali e ferrovie, che hanno facilitato il movimento di merci e persone su scala prima inimmaginabile. Un'invenzione chiave in questo senso fu quella dell'acciaio la quale consentì di costruire migliaia di chilometri di ferrovie che hanno, per la prima volta, ridotto ad ore o a pochi giorni la durata degli spostamenti che prima necessitavano settimane o addirittura mesi.

Il drammatico aumento della produttività e della crescita economica ha portato con sé anche significativi cambiamenti sociali, come la crescita dell'urbanizzazione e l'emergere di nuove classi sociali. Ciò a sua volta ha determinato un cambiamento significativo nel modo in cui il lavoro era organizzato e nel ruolo del lavoro nella società.

La seconda rivoluzione industriale, nota anche come rivoluzione tecnologica, ebbe luogo tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo. Gli USA sono stato il paese che ha trainato questa trasformazione tecnica, prima che economica. La svolta è stata apportata dal passaggio da un consumo di tipo elitario di beni durevoli ad un consumo di massa. La seconda rivoluzione industriale è stata caratterizzata da una serie di nuovi progressi tecnologici, tra cui l'introduzione della catena di montaggio, il motore a combustione interna e l'uso diffuso dell'elettricità e delle onde elettromagnetiche. L'introduzione di queste tecnologie ha portato

ad una maggiore produttività ed efficienza nella produzione ed ha anche consentito la crescita di nuove industrie come quella automobilistica, aeronautica, chimica e siderurgica. Questo periodo ha visto anche miglioramenti significativi nelle tecnologie di trasporto e comunicazione, come il telefono e il telegrafo che hanno facilitato la diffusione dell'informazione a costi accessibili e l'emergere di nuove forme di media. Tuttavia il settore che ha rappresentato il baluardo della nuova rivoluzione in atto è stato quello dell'automobile, in particolare il visionario Henry Ford ha messo in pratica i precetti di Frederick Taylor sull'utilizzo di componenti intercambiabili per produrre beni più complessi tramite l'uso di macchine utensili e rispettando tolleranze di lavorazione. La Ford T fu l'emblema della seconda rivoluzione industriale e la prima automobile prodotta in serie che consentì, con lo sfruttamento di economie di scala, prezzi più competitivi e una maggiore domanda. I prodotti, in generale, diventarono standardizzati, grazie alla divisione del lavoro nelle fabbriche ed all'impiego di competenze specialistiche a basso costo unitario. Questa rivoluzione ha aperto il mercato dei beni durevoli alla classe media ed ha migliorato in modo significativo gli standard di vita delle persone comuni.

Questi sviluppi hanno avuto un profondo impatto sull'economia e sulla società nel suo insieme portando ad una maggiore industrializzazione ed urbanizzazione. La seconda rivoluzione industriale può essere inquadrata come una continuazione della crescita economica e dei cambiamenti sociali iniziati con la prima rivoluzione industriale, ma ha anche portato nuove sfide, come l'ascesa dei monopoli e la crescita della disuguaglianza economica.

La terza rivoluzione industriale, o rivoluzione digitale, è emersa nella seconda parte del XX secolo o più precisamente appena dopo la fine della Seconda guerra mondiale prima negli Stati Uniti e poi nel resto del mondo, questa fase di rinascita arrivò grazie alla scoperta della doppia elica, alla corsa allo spazio, allo sviluppo dell'energia nucleare ed all'uso diffuso di microprocessori e l'ascesa di Internet. Emerse un nuovo sistema di fabbrica detto "post-fordista" per indicare la progressiva e relativa diminuzione del peso del modello di

produzione e lavoro instaurato negli anni '20 negli stati Uniti, con la catena di montaggio e la parcellizzazione del lavoro che avevano trovato nelle fabbriche per automobili Ford l'esempio più coerente e completo. Il modello "post-fordista" fu segnato dall'avvento di una miriade di aziende di dimensioni ridotte, che andavano dal laboratorio familiare ai piccoli stabilimenti ad alta tecnologia: una rete produttiva diffusa senza più un centro geograficamente riconoscibile in una fabbrica o in una città. Anche i grandi stabilimenti industriali, quando sopravvissero, cambiarono radicalmente i propri assetti interni, automatizzando e modificando le precedenti lavorazioni a catena.

L'innovazione più importante per la terza rivoluzione industriale è stato lo sviluppo della microelettronica, dei personal computer e l'uso delle reti di computer per la comunicazione e l'elaborazione dei dati. La rivoluzione digitale ha portato a cambiamenti significativi nel modo in cui le persone lavorano, comunicano ed accedono alle informazioni. Abbiamo visto l'ascesa dell'automazione e la crescita delle tecnologie digitali, che hanno trasformato settori come la finanza, le telecomunicazioni e la produzione. Le nuove forme di comunicazione, come la posta elettronica ed i social media o le app di messaggistica istantanea, hanno velocizzato e reso facilmente accessibile il modo in cui le persone si connettono e condividono le informazioni. Grazie ai nuovi mezzi di comunicazione l'uomo comunica a distanza con e attraverso le macchine e mediante un linguaggio digitale, abbattendo le frontiere ed i limiti geografici alla trasmissione delle informazioni.

Per quanto riguarda il mercato del lavoro, i lavoratori sono lentamente passati dal settore manifatturiero al settore dei servizi. Basti pensare che nel 1979 gli occupati del settore manifatturiero negli Stati Uniti erano 21 milioni, e tredici anni dopo sono diminuiti di tre milioni, con un tasso medio annuo di crescita del -1,2%; nello stesso periodo i lavoratori nel settore dei servizi (alle persone e informatici) sono aumentati del 9% annuo. Tale processo è conosciuto anche con il nome di "terziarizzazione". Inoltre, la terza rivoluzione industriale ha inaugurato la globalizzazione. Il concetto di catena di fornitura manifatturiera non è più semplicemente un'integrazione verticale all'interno dell'azienda ma è diventata

un'integrazione virtuale in tutto il mondo. La terza rivoluzione industriale ha anche portato alla nascita di nuove industrie come lo sviluppo di software e l'e-commerce.

Il mercato è diventato globale e allo stesso tempo il numero di imprese in competizione cresce sempre più aprendosi ad aziende provenienti da paesi in cui, solo pochi decenni fa, sarebbe stato impensabile. Questa rivoluzione ha favorito molte più persone rispetto alle precedenti due, in quanto ha "incluso" nel mondo cittadini di paesi che in passato erano rimasti ai margini dell'evoluzione tecnologica. La ricchezza è stata ridistribuita tra nazioni industrializzate, economie emergenti e paesi in via di sviluppo e una maggior fetta della popolazione ha iniziato ad avere accesso ai nuovi dispositivi d'informazione come cellulari, computer o televisori.

Questa era ha portato cambiamenti significativi all'economia ed alla società globale, ma ha anche portato nuove sfide, come la crescita delle minacce informatiche e l'aumento del trasferimento di posti di lavoro a causa dell'automazione.

Da qualche anno, tuttavia, i maggiori paesi industrializzati del mondo stanno cercando di delineare per le loro imprese un percorso di crescita che le porta ad investire in maniera sempre più intensiva nel campo dell'Information Technology. Il prospetto è quello di introdurre le tecnologie più avanzate in ambito tecnico, commerciale, di raccolta dati, di sicurezza e controllo, in industrie che possano sfruttare al massimo non solo l'efficienza di tali innovazioni, ma anche seguire quello che è il trend generale che i consumatori assumono nelle loro scelte di consumo. Una delle più curiose tendenze a riguardo è proprio il passaggio dalla produzione di massa alla personalizzazione di massa. Il consumatore non cerca più il consumo di un prodotto qualsiasi purché abbia le caratteristiche richieste, ma è alla ricerca del "suo prodotto", perfettamente aderente a quelle che sono le sue esigenze e che gli consenta di fargli provare l'esperienza da lui voluta.

Tutte queste rivoluzioni industriali hanno avuto impatti significativi sulla società e sull'economia. Hanno portato a un aumento della produttività e dell'efficienza ed hanno

consentito la crescita di nuovi settori e modelli di business. Tuttavia, hanno anche portato sfide significative e cambiamenti sociali. Ad esempio, la prima rivoluzione industriale ha portato a significativi sconvolgimenti sociali e alla crescita della manodopera industriale. La seconda rivoluzione industriale ha determinato l'ascesa della classe operaia ed ha portato a cambiamenti significativi nel ruolo delle donne nella società. La terza rivoluzione industriale è stata caratterizzata dalla crescita di un'economia globale e dall'emergere di nuove forme di comunicazione e social media.

In conclusione, ogni rivoluzione industriale è stata contrassegnata da significativi progressi tecnologici ed ha portato a cambiamenti significativi nel modo in cui lavoriamo, viviamo e comunichiamo. La prima rivoluzione industriale ha meccanizzato la produzione introducendo i motori a vapore, la seconda ha introdotto nuovi sistemi organizzativi del lavoro guidando i lavoratori a specializzarsi nei loro impieghi, la rivoluzione informatica ha annullato le distanze geografiche e ha messo a punto degli elaboratori automatici capaci di velocizzare e rendere più efficienti le mansioni umane.

Sebbene ognuna di queste rivoluzioni abbia portato notevoli vantaggi, ha anche presentato sfide significative ed ha richiesto alle società di adattarsi e rispondere a questi cambiamenti. Comprendere l'impatto di queste rivoluzioni industriali può fornire informazioni sulle sfide e sulle opportunità dell'attuale quarta rivoluzione industriale, caratterizzata dall'integrazione di tecnologie come l'intelligenza artificiale, l'internet of things, la robotica avanzata e l'automazione, la blockchain, i computer quantistici, la stampa 3D, l'analisi dei big data, la cybersecurity, il cloud computing e la realtà aumentata.

La quarta rivoluzione industriale permetterà di immagazzinare milioni di informazioni in più e di monitorare da remoto la produzione, nonché il prodotto e il suo utilizzo. Tuttavia, seppur le innovazioni tecniche sono sotto gli occhi di tutti, ciascuno di questi momenti storici nasconde degli importanti risvolti a livello sociale. La quarta rivoluzione industriale, iniziata da poco, è dunque prima di tutto una trasformazione a livello culturale, resa possibile dall'utilizzo planetario di Internet e dalla diffusione in tempo reale dell'informazione di

qualsiasi genere.

È una rivoluzione pervasiva e ineludibile che si fonda sulla digitalizzazione e sull'innovazione continua. Basta osservare come ognuno di noi sia perennemente connesso al proprio cellulare, alla priorità che dà ai messaggi ricevuti e alla rilevanza che attribuisce ai social media. L'aspetto industriale, infatti, è quasi secondario ad una rivoluzione che viene dall'interno della società e dalle sue persuasive tendenze che si sviluppano proprio sui social. Un esempio di ciò viene fornito anche da come si è sviluppata la seconda rivoluzione industriale. Come già è stato sottolineato, uno dei fenomeni caratteristici di questa è stato il consumo di massa. Quest'ultimo non è stato solo una peculiare conseguenza a livello sociale del cambiamento in corso, ma a dire il vero, anche uno dei fenomeni scatenanti. È stato il gran numero di consumatori non serviti a spingere per una produzione più efficiente, è stato il maggior livello di occupazione a provocare la formazione di una classe media; è stata la presenza di una classe media ad alimentare sempre di più la domanda, in modo che bene, all'epoca destinati a pochi, fossero prodotti con le caratteristiche essenziali e a prezzi più accessibili, andando quindi a provocare delle reazioni a catena.

Pertanto, questo campione dimostra come le rivoluzioni industriali, al pari di quelle politiche, partano in primis dalla società e dai suoi bisogni e poi vanno a generare i loro effetti in tutti gli altri ambiti. Un altro aspetto considerevole delle rivoluzioni industriali riguarda la creazione di posti di lavoro. L'avvento di tutte le innovazioni tecnologiche nel mondo dell'industria ha comportato dei cambiamenti nell'allocazione dei lavoratori all'interno dei tre settori dell'economia e la creazione di mestieri e professioni nuove fino ad allora impensabili. Se la prima rivoluzione industriale ha concepito il concetto di "impresa", la rivoluzione informatica ha dato il via ad una tale quantità di nuovi prodotti e dispositivi elettronici da creare un fitto novero di nuove figure professionali. Peraltro, come è stato osservato, il numero di impiegati all'interno del settore dei servizi è aumentato enormemente nelle economie più evolute a partire dagli anni '70, tanto da prospettare nel futuro, a detta di alcuni, la totale scomparsa delle industrie manifatturiere.

Ciò che è certo è che anche la neonata Quarta Rivoluzione sarà ed è già portatrice di novità in ambito occupazionale. I posti di lavoro del futuro, di fatti, sono sempre più orientati verso le attività di data monitoring o di data analysis, oppure nel campo della progettazione digitale di articoli che auspicabilmente in futuro non saranno più prodotti in componenti assemblabili, ma direttamente attraverso stampanti tridimensionali che avranno come output immediatamente il prodotto finito, ma non è raro anche vedere nuove figure denominate “influencer” che si occupano di generare nuove tendenze di mercato, sponsorizzando prodotti di alcune aziende partner, e contribuendo ad accrescere il loro fatturato.

Circa tale argomento, uno studio del World Economic Forum riporta che il 65% dei bambini che cominciano oggi il proprio ciclo di studi è destinato a trovare un lavoro che oggi non esiste. Se tale ricerca dovesse soddisfare le sue aspettative, sarebbe sorprendente notare come nell’arco di 20 o 30 anni circa la metà dei mestieri più comuni saranno totalmente nuovi e ad oggi difficilmente prevedibili. Allo stesso tempo, il ricambio generazionale porterà con molte probabilità alla scomparsa di alcuni posti di lavoro, ma la velocità con cui potrebbe avvenire è paradigmatica nell’evidenziare come una rivoluzione industriale è prima di tutto una rivoluzione sociale. È quindi il nodo della formazione delle competenze a riaffiorare con prepotenza in quanto nelle imprese del futuro ci sarà bisogno di figure professionali che fino a 20 anni fa non esistevano assolutamente.

I modelli di business sono destinati ad adattarsi alla sempre maggior importanza dei servizi post-vendita ed assistenza, in quanto tali, finalizzati alla fidelizzazione della clientela e all’analisi e alla valutazione di feedback sul prodotto che proveranno direttamente dagli stessi acquirenti, tramite la trasmissione di un notevole flusso di informazioni. Inoltre, le tendenze dei business model oggi più riusciti, si indirizzano sempre nella direzione di quelli che possiamo chiamare “self-economy”, ossia una serie di servizi all’interno dei quali è il cliente a fornire la prestazione del servizio a se stesso, a creare valore per se stesso, mentre l’azienda non fa altro che rendere disponibili le risorse per la soddisfazione del bisogno. L’esempio più

semplice, nonché maggiormente conosciuto, è quello del car sharing, il quale è diventato a tutti gli effetti un sostitutivo di taxi e trasporti pubblici. È il cliente che guida il veicolo e che quindi si “conduce” nello spazio, a differenza di qualsiasi altro mezzo pubblico o privato. Ecco allora che risulta evidente come, nel futuro, gli studenti del presente avranno il compito di trovare delle soluzioni sempre più innovative per assolvere alle esigenze di velocità e facilità di fruizione del servizio e allo stesso tempo per scovare quei segmenti del mercato in cui potersi inserire, impersonando le figure professionali che le aziende richiedono.

1.2 LE TECNOLOGIE, I VANTAGGI E GLI SVANTAGGI DELL'INDUSTRIA 4.0

Il concetto di industria 4.0 trova le sue fondamenta su sistemi di produzione guidati dall'information technology (IT). Le tecnologie abilitanti (dall'inglese Key Enabling Technologies), secondo analisi condotte dalla BCG – Boston Consulting Group, sono al centro della nuova rivoluzione industriale (Boston Consulting Group,2013). Alcune di esse già presenti da anni, non hanno mai avuto modo di esplodere, sia per poca conoscenza sia perché non si nutriva ancora una reale esigenza di cambiamento. Nell'ultimo decennio, grazie alla nascita di altre tecnologie e alle interazioni tra di loro, abbiamo assistito ad una crescita tecnologica vertiginosa senza quasi accorgercene.

Secondo la definizione data dalla commissione europea le tecnologie abilitanti sono tecnologie “ad alta intensità di conoscenza e associate ad elevata attività di ricerca e sviluppo, a cicli di innovazione rapidi, a consistenti spese di investimento e a posti di lavoro altamente qualificati”. In quanto tali hanno rilevanza sistemica perché alimentano il valore della catena del sistema produttivo ed hanno la capacità di innovare i processi, i prodotti e i servizi in tutti i settori economici dell'attività umana. Un prodotto basato su una tecnologia abilitante, inoltre, utilizza tecnologie di fabbricazione avanzate e accresce il valore commerciale e sociale di un bene o di un servizio. L'ascesa della nuova tecnologia industriale digitale è una trasformazione che consente di raccogliere ed analizzare i dati su più macchine, consentendo

processi più veloci, più flessibili ed efficienti per produrre beni di qualità superiore a costi ridotti. Questa rivoluzione manifatturiera aumenterà la produttività, sposterà l'economia, favorirà la crescita industriale e modificherà il profilo della forza lavoro, cambiando in definitiva la competitività delle aziende e delle regioni.

La tecnologia digitale avanzata cambierà i tradizionali rapporti di produzione tra fornitori, produttori e clienti, nonché tra uomo e macchina. Ecco le tendenze tecnologiche che costituiscono i mattoni dell'industria 4.0.

- *Intelligenza artificiale*

Sin dagli anni '40, i ricercatori si sono interessati all'utilizzo dei computer per svolgere compiti intelligenti. Nel 1955, John McCarthy coniò il termine "intelligenza artificiale". Tra i ricercatori c'è stato un dibattito sul fatto se i pensieri *neurali* o le *regole logiche* siano migliori per ottenere un comportamento intelligente. Questo dibattito copre diverse dimensioni dell'intelligenza artificiale come struttura, comportamento, capacità, funzione e principio. Al giorno d'oggi, il termine "intelligenza artificiale" è un termine generico per varie categorie tecnologiche che identificano l'intelligenza e il comportamento intelligente, che vanno dall'apprendimento automatico alla robotica consapevole.

Nei suoi primi giorni, l'intelligenza artificiale si basava sulle ricerche per determinare le azioni appropriate, ma da allora è progredita per eseguire operazioni logiche. Incorporando la conoscenza umana nella logica di programmazione, le aziende possono creare sistemi esperti o sistemi basati sulla conoscenza. Le visioni classiche dell'intelligenza artificiale, nota anche come intelligenza artificiale basata sulla conoscenza, spesso utilizzavano alberi decisionali e tecniche di adattamento del modello come la regressione. Al contrario, l'intelligenza artificiale basata sul comportamento o su reti neurali artificiali può estrarre relazioni non lineari e identificare interazioni tra variabili predittive. I ricercatori hanno valutato le strutture delle reti neurali utilizzando due topologie per classificare il comportamento, vale a dire la topologia della rete di percezione multistrato e la topologia della rete ricorrente semplice.

Alcuni ricercatori usano l'intelligenza artificiale per prevedere i comportamenti umani, mentre altri cercano la capacità di imitare i comportamenti sociali.

Le applicazioni basate sull'intelligenza artificiale che i ricercatori hanno sviluppato in varie discipline forniscono informazioni sugli impatti, ampi e profondi, che l'intelligenza artificiale può avere. Nell'area di sviluppo dei farmaci, i ricercatori hanno iniziato a insegnare modelli di apprendimento automatici per apprendere le regole sulla progettazione dei farmaci come, ad esempio, la struttura delle molecole terapeutiche ed il processo graduale per sintetizzarle in modo efficiente (J.P Shin, Kai R. Larsen, Marten Risius ed Hemant Jain, 2021). È quindi possibile utilizzare questi modelli per migliorare i farmaci esistenti, generare composti completamente nuovi o nuove combinazioni di farmaci. Nell'area della sicurezza, il governo cinese continua a implementare software di sorveglianza CCTV basati sulla visione artificiale. Le tecnologie di sintesi del viso e del corpo ora consentono di filmare un video per poi generare lo stesso video in diverse lingue abbinando il volto alla parola parlata. Il passo successivo prevede la generazione di interi corpi dalla testa ai piedi.

I ricercatori hanno lavorato anche sull'utilizzo delle reti neurali per la decodifica dei pensieri dalle onde cerebrali. I ricercatori della Columbia University hanno utilizzato l'elettro cartografia invasiva per misurare l'attività neurale di cinque pazienti sottoposti a trattamento per l'epilessia durante l'ascolto continuo di suoni del parlato. I ricercatori hanno poi ricostruito il discorso dall'attività neurale nella corteccia uditiva. Il sistema ha raggiunto una precisione del 75%.

Il metodo di deep learning ha migliorato l'intelligibilità del parlato del 65% rispetto al metodo di regressione lineare di base. La ricerca indica il potenziale delle interfacce cervello-computer per ripristinare la comunicazione per i pazienti paralizzati. Nell'area della sicurezza informatica, le organizzazioni hanno utilizzato algoritmi di apprendimento automatico per rilevare le minacce interne utilizzando grandi quantità di dati sul comportamento dei dipendenti, riducendo il tempo per segnalare potenziali intenti

dannosi. Hanno anche utilizzato l'apprendimento supervisionato per identificare attività dannose nella loro rete sulla base dei dati degli attacchi passati.

Le prestazioni dei semiconduttori (chip) guidano il progresso nella ricerca e nelle applicazioni dell'intelligenza artificiale. Ciò che richiedeva sei giorni di elaborazione nel 2010 può oggi essere fatto su GPU in 18 minuti (J.P Shin, Kai R. Larsen, Marten Risius ed Hemant Jain, 2021).

- *Machine learning*

Machine learning e le sue numerose varianti costituiscono oggi una delle tecnologie di intelligenza artificiale di cui più si parla. Sebbene il concetto di intelligenza artificiale manchi di chiarezza, machine learning si riferisce più specificamente ad un'applicazione dell'intelligenza artificiale che fornisce ai sistemi la capacità di apprendere e migliorare automaticamente dall'esperienza senza essere esplicitamente programmati. L'apprendimento automatico utilizza tecniche statistiche per "imparare" dai dati, un processo chiamato addestramento di un modello utilizzando un algoritmo di apprendimento che migliora progressivamente le prestazioni del modello su un'attività specifica. La disponibilità di enormi e crescenti quantità di dati ha contribuito a migliorare gli algoritmi di apprendimento che ora possono apprendere automaticamente dai dati e, cosa più importante, dal loro ambiente operativo. Questo apprendimento ha il potenziale per creare una situazione in cui le macchine acquisiscono una quantità crescente di conoscenza tale che gli esseri umani non possono più controllarle. Un ramo del machine learning noto come "apprendimento per rinforzo" utilizza un comportamento di apprendimento orientato agli obiettivi in cui gli algoritmi apprendono un'azione. Utilizza prove ed errori simulando un ambiente di gioco con premi e penalità per raggiungere un obiettivo finale. Il deep learning, d'altra parte, imita gli strati di neuroni nel cervello per imparare automaticamente a riconoscere schemi complessi nei dati. Molte persone e organizzazioni hanno utilizzato con successo questa tecnologia per addestrare i computer a riconoscere varie immagini e abilitare

applicazioni come veicoli autonomi o per diagnosticare malattie complesse come il cancro. Un altro ramo del machine learning chiamato "transfer learning" si concentra sull'archiviazione delle conoscenze acquisite in un problema e sull'applicazione a un problema diverso o correlato. Per fare ciò, un modello addestrato deve conservare la conoscenza e applicarla con nuovi dati specifici per una nuova attività. L'apprendimento trasferito presuppone che un modello di apprendimento automatico addestrato possa riapplicare (o "trasferire") le conoscenze acquisite durante il processo di addestramento per una nuova attività. Il riutilizzo delle conoscenze acquisite in precedenza riduce la quantità di dati di cui un modello ha bisogno per apprendere una nuova attività. Un modello pre-addestrato su molti problemi diversi interiorizzerà una maggiore conoscenza del mondo e, quindi, rappresenta un passo cruciale verso la generalizzazione dell'intelligenza artificiale. Ad esempio, Google ha prima addestrato la sua rete InceptionV3 su ImageNet con un gran numero di immagini e poi l'ha riqualificata con 129.450 immagini cliniche che raffiguravano 2.032 diverse malattie della pelle. Ha imparato a classificare le immagini solo in base agli input dei pixel e alle etichette delle malattie. Il modello ha superato 21 dermatologi di Stanford nell'identificare il cancro. La tecnologia di visione artificiale può descrivere rapidamente scene visive imparando a rilevare oggetti per descrivere le scene. Comprendere veramente una scena richiede di comprendere le azioni e il buon senso.

- *5G Network*

La rete wireless di quinta generazione, comunemente nota come 5G, è la tecnologia di rete cellulare più recente e avanzata. Il 5G promette di offrire velocità più elevate, latenza inferiore e maggiore capacità rispetto alle precedenti generazioni di reti cellulari. Utilizza tecnologie avanzate come Massive MIMO, beamforming e frequenze a onde millimetriche per fornire velocità di trasferimento dati ad alta velocità e una migliore efficienza della rete. La tecnologia Beamforming consente alla rete di focalizzare il segnale in una particolare direzione, migliorando la copertura della rete e riducendo le interferenze. Le frequenze delle

onde millimetriche forniscono velocità di trasferimento dati più elevate ma hanno una portata limitata e sono suscettibili alle interferenze di ostacoli come edifici e alberi. È progettato per fornire velocità di trasferimento dati più elevate, latenza inferiore e maggiore capacità per supportare un'ampia gamma di applicazioni, tra cui Internet of Things (IoT), realtà aumentata (AR), realtà virtuale (VR), veicoli autonomi, drone network, smart agriculture, smart cities, mobile diagnostic, wireless robotics e altri casi d'uso. La tecnologia 5G opera su tre diverse bande di frequenza, comprese le frequenze in banda bassa, media e alta. Le frequenze in banda bassa offrono una copertura maggiore ma velocità di trasferimento dati inferiori, mentre le frequenze in banda alta offrono velocità di trasferimento dati più elevate ma una copertura limitata (J.P Shin, Kai R. Larsen, Marten Risius ed Hemant Jain, 2021). “Nessuna tecnologia cellulare in nessuna generazione precedente ha avuto il potenziale per guidare la crescita economica nella misura in cui promette la tecnologia 5G”. La tecnologia 5G ha il potenziale di rivoluzionare il nostro modo di vivere, lavorare e comunicare, poiché può apportare miglioramenti significativi a diversi settori, come ad esempio l'assistenza sanitaria, i trasporti e l'intrattenimento. Ad esempio, grazie alla bassa latenza e alle velocità di trasferimento dati ad alta velocità fornite dal 5G, i medici potrebbero operare sui pazienti da remoto, consentendo la chirurgia remota. Inoltre, il 5G può migliorare i sistemi di trasporto consentendo la comunicazione in tempo reale tra veicoli autonomi e altri dispositivi sulla strada, migliorando la sicurezza e l'efficienza. Il 5G potrebbe anche portare grandi cambiamenti nell'industria dell'intrattenimento, permettendo esperienze immersive come la realtà aumentata e la realtà virtuale e consentendo lo streaming di contenuti di alta qualità, migliorando così l'esperienza dell'utente. Infine, la tecnologia 5G può offrire importanti miglioramenti nel settore IoT, consentendo a una vasta gamma di dispositivi, come sensori, fotocamere e dispositivi intelligenti, di connettersi alla rete. Nonostante le opportunità che il 5G crea, ci sono molte sfide da affrontare. Ad esempio, le società di telecomunicazioni continuano a fare i conti con il costo delle licenze (ad es. Sub-GHz, Sub-6 GHz, mmWave) e delle apparecchiature di telecomunicazione utilizzate per l'implementazione del 5G. Un altro problema include il fatto che anche le reti 5G hanno una

portata limitata e, quindi, richiedono che le società di telecomunicazioni erigano antenne più piccole per servire più clienti.

- *Internet of things (IoT)*

L'Internet of Things (IoT) è una rete di oggetti fisici o "cose" incorporati con sensori, software e altre tecnologie che consentono loro di connettersi e scambiare dati con altri dispositivi e sistemi connessi ad internet. Questi dispositivi connessi possono essere qualsiasi cosa, da automobili ed elettrodomestici, da apparecchiature mediche a dispositivi indossabili. Il concetto di IoT può essere fatto risalire agli anni '80 e '90, quando i ricercatori hanno iniziato a esplorare modi per connettere i dispositivi a Internet. Tuttavia, è alla metà degli anni 2000 che l'IoT ha iniziato a guadagnare un'attenzione diffusa con l'emergere di tecnologie wireless a prezzi accessibili e la disponibilità di sensori e microprocessori a basso costo. Le discipline alla base dell'IoT sono l'informatica, la comunicazione e l'elettronica. Le tecnologie di base necessarie per costruire un dispositivo IoT sono le tecnologie dei semiconduttori, Internet, le tecnologie dei sensori e più in generale i sistemi micro-elettromeccanici. Più specificamente, all'interno di queste tecnologie di base, i dispositivi IoT incorporano tecnologie bluetooth, tecnologie per batterie a basso consumo, tecnologie laser, tecnologie per fotocamere intelligenti, contatori intelligenti e sensori per il consumo di energia. All'interno di questo insieme eterogeneo di diversi dispositivi e soluzioni ci sono almeno tre cluster tecnologici: dispositivi, piattaforme software, gateway e altri elementi di rete

L'IoT è un componente chiave della quarta rivoluzione industriale collegando macchine, prodotti e persone l'IoT consente la creazione di fabbriche, supply chain e città intelligenti, che possono migliorare l'efficienza, la produttività e la sostenibilità. L'IoT ha numerose applicazioni in vari settori, tra cui sanità, trasporti, agricoltura e produzione. Alcuni esempi includono il monitoraggio remoto dei pazienti, le case intelligenti, le auto connesse,

l'agricoltura di precisione e la manutenzione predittiva. Tuttavia, le tecnologie IoT sono ancora in una fase iniziale di sviluppo e di conseguenza caratterizzate da un ambiente competitivo, altamente tecnologico ed instabile. Le sfide tecniche di questo tipo di ambiente includono lo scambio di dati tra elementi di reti eterogenee su larga scala, l'integrazione e l'adattamento dell'interazione di informazioni incerte, l'adattamento del servizio in un ambiente di sistema dinamico. Si prevede che l'IoT continuerà a crescere ed evolversi, con più dispositivi connessi e più dati generati. Inoltre, l'integrazione dell'intelligenza artificiale e della tecnologia blockchain con l'IoT dovrebbe migliorare ulteriormente le sue capacità. Gli investimenti in queste tecnologie sono guidati da società private. IBM, Google, Samsung, SAP, Dell, Siemens e Intel sembrano essere le aziende che stanno investendo di più, ma è molto difficile identificare un chiaro leader tecnologico sia nei dispositivi che nelle piattaforme, anche a causa del vasto numero di diverse tecnologie e settori coinvolti. È interessante notare che il crescente interesse delle grandi aziende nell'acquisire capacità IoT sembra guidare un'ondata di consolidamento nel settore.

- *Big Data*

Il termine Big Data si riferisce a set di dati estremamente grandi che non possono essere elaborati utilizzando le tradizionali tecniche di elaborazione dei dati. I Big Data in genere implicano tre caratteristiche: volume, velocità e varietà. Il termine Big Data è stato utilizzato per la prima volta in un articolo di Roger Mougaldas nel 2005. Tuttavia, il concetto di elaborazione di grandi quantità di dati esiste dagli anni '60. L'analisi dei big data è il processo di esame di set di dati ampi e vari per scoprire modelli nascosti, correlazioni sconosciute, tendenze di mercato, preferenze dei clienti e altre informazioni utili che possono aiutare le organizzazioni a prendere decisioni aziendali più informate. La diffusione dei Big Data è stata accelerata dall'avvento di Internet, dalla proliferazione di dispositivi digitali e dalla crescente importanza di basare il processo decisionale di marketing sui dati.

Un sistema analitico di produzione dati inizia con un sistema che abbia la capacità di acquisire molti dati, il quale può essere integrato dal produttore di apparecchiature originali o da un fornitore di terze parti. Utilizzando gruppi di sensori appropriati, è possibile registrare vari segnali come vibrazioni, pressione, temperatura ed altri. Tali dati possono fornire un contesto sul tipo di azione/funzione che la macchina stava eseguendo quando questi sono stati raccolti dai sensori. L'aggregazione di tutte le informazioni si traduce in "Big Data" a causa del volume di dati raccolti, della velocità con cui i dati vengono ricevuti e della varietà di dati che vengono raccolti. Tale fenomeno richiede nuovi approcci analitici al posto del controllo di processo statistico standard o di altre tecniche tradizionali. Diversi componenti sono in gioco in questo spazio: una piattaforma integrata, analisi predittive e strumenti di visualizzazione. La piattaforma di distribuzione viene selezionata in base a diversi fattori come la velocità di calcolo, il costo di investimento e la facilità di implementazione per scopi di ridimensionamento e aggiornamento. L'effettiva elaborazione o trasformazione dei big data in dati utili viene eseguita mediante analisi predittive. Inizialmente le applicazioni di big data sono state utilizzate principalmente da grandi società di Internet e di e-commerce, come Yahoo, Google e Facebook, nonché da fornitori di servizi di analisi e marketing. Negli anni successivi, tuttavia, l'analisi dei big data è stata sempre più adottata da rivenditori, società di servizi finanziari, assicuratori, organizzazioni sanitarie, produttori, società energetiche e altre imprese tradizionali. L'analisi dei Big Data è uno dei principali fattori abilitanti della Quarta Rivoluzione Industriale, caratterizzata dalla fusione di tecnologie che offuscano i confini tra la sfera fisica, quella digitale e quella biologica. I Big Data hanno molte applicazioni in un'ampia gamma di settori, tra cui sanità, finanza, trasporti e vendita al dettaglio. Nel settore sanitario, i Big Data vengono utilizzati per migliorare i risultati dei pazienti, ottimizzare l'allocazione delle risorse e sviluppare nuovi trattamenti. Nella finanza, i Big Data vengono utilizzati per il rilevamento delle frodi, la gestione del rischio e il trading algoritmico. Nei trasporti, i Big Data vengono utilizzati per ottimizzare i percorsi, ridurre la congestione e migliorare la sicurezza. Nella vendita al dettaglio, i Big Data vengono utilizzati per personalizzare il marketing, ottimizzare l'inventario e migliorare l'esperienza del cliente. In

futuro, si prevede che i Big Data continueranno a svolgere un ruolo cruciale in una vasta gamma di campi. Alcuni degli sviluppi previsti includono l'uso dei Big Data nella medicina di precisione, l'ulteriore sviluppo di veicoli autonomi e l'uso dei Big Data per migliorare la sostenibilità.

- *Cloud manufacturing*

Il cloud manufacturing è una tecnologia emergente che ha guadagnato un'attenzione significativa negli ultimi anni grazie al suo potenziale di rivoluzionare i processi di produzione. È un concetto che integra il cloud computing con tecnologie di produzione avanzate come la stampa 3D, la robotica e l'Internet of Things (IoT) per creare un ambiente virtualizzato per la produzione. L'idea principale alla base del cloud manufacturing è quella di fornire, su richiesta, l'accesso ad un pool condiviso di risorse di produzione, inclusi software, hardware e servizi, tramite Internet. In questo modo, consente alle aziende di ottimizzare i propri processi di produzione fornendo loro la flessibilità, la scalabilità e l'efficienza in termini di costi di cui hanno bisogno per rimanere competitive nel mercato globale. Il concetto di cloud manufacturing affonda le sue radici nel concetto di cloud computing, emerso nei primi anni 2000. Il cloud computing si riferisce alla fornitura di servizi informatici, inclusi software, archiviazione e potenza di elaborazione, su Internet. L'idea alla base del cloud computing è fornire agli utenti l'accesso on-demand ad un pool condiviso di risorse informatiche che possono essere scalate verso l'alto o verso il basso in base alle esigenze. Il cloud computing è stato ampiamente adottato in vari settori, tra cui quello manifatturiero, grazie ai suoi numerosi vantaggi, come il risparmio sui costi, la scalabilità e la flessibilità. Il concetto del cloud manufacturing è emerso come un'estensione naturale del cloud computing, volto ad applicare i vantaggi di quest'ultimo all'industria manifatturiera. La produzione cloud è stata introdotta per la prima volta in un documento di ricerca pubblicato dall'Accademia cinese di ingegneria nel 2010, che proponeva il concetto di "Service-Oriented Manufacturing" (SOM). SOM si riferisce ad un nuovo paradigma di produzione che integra i servizi di produzione con il cloud computing, consentendo agli utenti di accedere alle risorse

di produzione su Internet in modo scalabile ed economico. Il principio alla base del cloud manufacturing è creare un ambiente virtualizzato che consenta alle aziende di accedere a un pool condiviso di risorse di produzione tramite Internet. Questo ambiente è in genere costruito su un'infrastruttura di cloud computing che fornisce la potenza di elaborazione, l'archiviazione e le capacità di rete necessarie. Le risorse di produzione rese disponibili in questo ambiente possono includere applicazioni software, strumenti di progettazione, apparecchiature di produzione e servizi. Uno dei principali vantaggi del cloud manufacturing è che consente alle aziende di accedere alle risorse di produzione su richiesta, senza dover investire in attrezzature o infrastrutture costose. Ciò è particolarmente vantaggioso per le piccole e medie imprese (PMI) che potrebbero non disporre delle risorse finanziarie per investire in costose apparecchiature di produzione. Il cloud manufacturing offre inoltre alle aziende la flessibilità di aumentare o diminuire le operazioni di produzione secondo necessità, senza dover effettuare investimenti significativi in attrezzature o infrastrutture aggiuntive.

Il cloud manufacturing ha una vasta gamma di applicazioni in vari settori, tra cui aerospaziale, automobilistico, dispositivi medici e beni di consumo. Nell'industria aerospaziale, il cloud manufacturing viene utilizzato per produrre componenti leggeri per aeromobili, come parti del motore e componenti delle ali, utilizzando la tecnologia di stampa 3D. Nell'industria automobilistica, il cloud manufacturing viene utilizzato per produrre parti di automobili progettate su misura, come cruscotti e sedili, utilizzando software di progettazione assistita da computer (CAD) e tecnologia di stampa 3D. Nel settore dei dispositivi medici, il cloud manufacturing viene utilizzato per produrre impianti e protesi personalizzati utilizzando la tecnologia di stampa 3D. Nel settore dei beni di consumo, il cloud manufacturing viene utilizzato per produrre prodotti personalizzati, come gioielli e abbigliamento, utilizzando la stampa 3D e la tecnologia di taglio laser. Il cloud manufacturing è importante per la quarta rivoluzione industriale, nota anche come Industria 4.0, caratterizzata dall'integrazione di tecnologie avanzate come l'IoT, l'intelligenza artificiale (AI) e la robotica nei processi di produzione. Il cloud manufacturing fornisce l'infrastruttura necessaria per supportare queste

tecnologie, consentendo alle aziende di implementare processi di produzione avanzati che sono più flessibili, efficienti e convenienti rispetto ai processi di produzione tradizionali. Il cloud manufacturing consente inoltre alle aziende di sfruttare le grandi quantità di dati generati dai dispositivi IoT, consentendo loro di ottimizzare i processi di produzione e migliorare la qualità del prodotto. Uno dei principali miglioramenti che il cloud manufacturing può apportare è una maggiore collaborazione ed innovazione. Il manufacturing cloud consente alle aziende di collaborare con altre aziende ed esperti in tutto il mondo, condividendo risorse e competenze di produzione. Ciò può portare allo sviluppo di nuovi prodotti e servizi che non sarebbero possibili con i metodi di produzione tradizionali. Inoltre, il cloud manufacturing consente alle aziende di sperimentare e innovare più facilmente, in quanto possono rapidamente creare nuovi prototipi e testare nuove idee senza dover investire in attrezzature o infrastrutture costose. Ciò può portare a uno sviluppo del prodotto più rapido e ad un time-to-market più breve, che è essenziale nell'ambiente aziendale frenetico di oggi. Un altro importante miglioramento il cloud manufacturing può apportare è una maggiore sostenibilità. La produzione cloud consente alle aziende di produrre beni in modo più sostenibile riducendo gli sprechi ed ottimizzando l'utilizzo delle risorse. Accedendo ad un pool condiviso di risorse di produzione, le aziende possono utilizzare solo le risorse di cui hanno bisogno, riducendo gli sprechi e minimizzando il loro impatto ambientale. Inoltre, il cloud manufacturing consente alle aziende di produrre merci più vicine al punto di consumo, riducendo i costi di trasporto e le emissioni di carbonio. Il cloud manufacturing è una tecnologia emergente che ha il potenziale per rivoluzionare i processi di produzione fornendo l'accesso su richiesta ad un pool condiviso di risorse di produzione su Internet consente alle aziende di ottimizzare i propri processi di produzione e rimanere competitivi nel mercato globale. Migliorando la collaborazione, l'innovazione e la sostenibilità, il cloud manufacturing può portare vantaggi significativi alle aziende e alla società nel suo complesso.

- *Robotics*

La robotica è una materia interdisciplinare che combina la meccanica, l'elettronica e l'informatica per progettare, costruire e programmare robot. La robotica moderna è nata negli anni '50, quando l'inventore americano George Devol ha creato il primo robot programmabile, chiamato Unimate, per la catena di montaggio della General Motors. Da allora, la robotica ha fatto grandi passi in avanti, portando alla creazione di robot sempre più sofisticati e autonomi. Il funzionamento dei robot dipende dalla loro tipologia e scopo. I robot industriali, ad esempio, sono progettati per eseguire compiti di produzione ripetitivi, come l'assemblaggio di parti in una fabbrica. Questi robot sono programmati per eseguire compiti specifici, come muovere le braccia in un determinato modo o rilevare oggetti. I robot mobili, invece, sono dotati di sensori e sistemi di navigazione che gli permettono di spostarsi autonomamente in un ambiente e di interagire con esso.

La robotica trova molteplici campi di applicazione, tra cui l'industria, la medicina, l'esplorazione spaziale, la ricerca subacquea e l'agricoltura. In campo industriale, la robotica è utilizzata per automatizzare la produzione, ridurre i costi e migliorare la qualità dei prodotti. In campo medico, la robotica è utilizzata per eseguire interventi chirurgici minimamente invasivi, migliorare la riabilitazione e l'assistenza domiciliare. In campo spaziale, la robotica è utilizzata per esplorare nuovi mondi e raccogliere campioni di roccia e suolo. In agricoltura, la robotica è utilizzata per seminare, piantare e raccogliere i prodotti. La robotica è importante per la quarta rivoluzione industriale, poiché consente di integrare i sistemi produttivi, l'automazione e l'Internet of things per creare un ambiente di produzione più efficiente ed intelligente. Grazie alla robotica, i processi produttivi diventano più veloci, più precisi e più sicuri. Inoltre, i robot sono in grado di lavorare in ambienti pericolosi o insalubri, evitando ai lavoratori umani di esporsi a rischi. Gli scenari futuri della robotica sono molteplici ed interessanti. Alcuni esperti prevedono che i robot diventeranno sempre più intelligenti ed autonomi, in grado di imparare dai propri errori e di adattarsi a nuovi compiti. Altri prevedono che la robotica darà vita a una nuova generazione di lavori, in cui umani e robot lavoreranno insieme per raggiungere obiettivi comuni. Altri ancora

prevedono che la robotica avrà un impatto profondo sulla società, portando a cambiamenti nella vita quotidiana e nelle relazioni umane. Inoltre, la robotica sta affrontando importanti sfide e problemi etici. Ad esempio, l'automazione potrebbe portare alla perdita di posti di lavoro, alla concentrazione del potere ed alla disuguaglianza economica. Inoltre, i robot potrebbero rappresentare una minaccia per la privacy e la sicurezza dei dati, soprattutto se utilizzati per la sorveglianza e il controllo. Per affrontare queste sfide, gli studiosi di robotica stanno lavorando su soluzioni tecnologiche e sociali. Ad esempio, alcuni stanno sviluppando robot collaborativi, che lavorano a stretto contatto con i lavoratori umani per migliorare la produttività e la sicurezza sul posto di lavoro. Altri stanno lavorando su standard di sicurezza e di privacy per garantire che i robot siano utilizzati in modo responsabile e rispettoso dei diritti umani.

- *Additive Manufacturing*

La stampa 3D, o additive manufacturing, è una tecnologia che permette la produzione di oggetti tridimensionali a partire da un modello digitale. Il processo avviene attraverso la deposizione di materiali, come plastica o metallo, strato dopo strato, fino a creare il prodotto finito. Questa tecnologia è stata introdotta negli anni '80, ma solo negli ultimi anni ha conosciuto una crescita esponenziale, grazie alla diminuzione dei costi ed alla disponibilità di tecnologie sempre più sofisticate. La stampa 3D viene utilizzata in molti campi, tra cui l'industria, la medicina e l'arte. In ambito industriale, la tecnologia è utilizzata per la produzione di prototipi, parti di ricambio e componenti complessi, che sarebbero difficili o costosi da produrre con tecniche tradizionali. In medicina, la stampa 3D viene utilizzata per la produzione di protesi e di modelli anatomici, che permettono ai chirurghi di pianificare interventi complessi. In ambito artistico, la tecnologia viene utilizzata per la produzione di opere d'arte e di oggetti di design. L'importanza della stampa 3D nella quarta rivoluzione industriale è dovuta alla sua capacità di rivoluzionare i processi produttivi, permettendo la

personalizzazione di massa e la produzione on-demand. Inoltre, la tecnologia consente di ridurre i tempi ed i costi di produzione, aumentando la flessibilità delle catene di produzione. Ciò consente alle aziende di adattarsi rapidamente alle esigenze del mercato, riducendo il rischio di invenduto e di obsolescenza dei prodotti. Gli scenari futuri della stampa 3D sono molteplici. Una delle prospettive più interessanti è quella della stampa 3D di organi umani, che potrebbe rivoluzionare la medicina rigenerativa e la produzione di farmaci. Inoltre, la tecnologia potrebbe consentire la produzione di prodotti altamente personalizzati, come scarpe e vestiti su misura, e di oggetti con geometrie complesse, come turbine eoliche. I costi marginali della personalizzazione con stampa 3D sono infimi se comparati a quelli che sosterebbe un'industria manifatturiera tradizionale, la quale, tramite questa tecnologia, ha la possibilità di realizzare anche prototipi senza predisporre di attrezzature specifiche. La stampa 3D potrebbe inoltre avere un impatto significativo anche sull'ambiente, grazie alla riduzione degli scarti di produzione ed alla possibilità di utilizzare materiali riciclabili.

- *Realtà aumentata*

La realtà aumentata (AR) è una tecnologia che consente di sovrapporre informazioni digitali al mondo reale, creando un'esperienza immersiva e interattiva. Entrando stabilmente tra le tecnologie più interessanti degli ultimi anni, la realtà aumentata è un sistema di grafica interattiva che permette di intervenire su un'immagine, modificando la realtà con l'aggiunta, in tempo reale, di contenuti e animazioni virtuali. Più semplicemente, consiste nell'arricchimento della percezione visiva ed acustica di un'immagine mediante informazioni, dati e suoni convogliati per guidare l'utente in attività specifiche. La tecnologia AR è stata introdotta negli anni '90, ma solo negli ultimi anni ha conosciuto una crescita esponenziale, grazie alla diffusione di smartphone e tablet dotati di sensori e fotocamere avanzati.

La realtà aumentata funziona attraverso l'utilizzo di dispositivi mobili o occhiali appositi, che catturano l'immagine del mondo reale e la sovrappongono ad informazioni digitali, come

immagini, video e suoni. Questa tecnologia può essere utilizzata per creare esperienze di gioco, per la formazione e l'addestramento, per il marketing e la pubblicità e per migliorare l'accessibilità di informazioni complesse.

Tra i campi di applicazione della realtà aumentata, ci sono l'industria, la medicina, l'arte e il turismo. In ambito industriale, la tecnologia AR viene utilizzata per la formazione e l'addestramento dei lavoratori, per la progettazione e la manutenzione di macchinari e per la gestione dei magazzini. In medicina, la tecnologia AR viene utilizzata per la progettazione e la simulazione di interventi chirurgici, per la diagnosi e la terapia di patologie complesse e per la formazione dei medici. In ambito artistico, la realtà aumentata viene utilizzata per creare esperienze immersive e interattive per il pubblico, mentre nel turismo la tecnologia AR può essere utilizzata per arricchire l'esperienza del visitatore con informazioni digitali sulla storia, la cultura e le attrazioni locali. L'importanza della realtà aumentata nella quarta rivoluzione industriale è dovuta alla sua capacità di migliorare l'efficienza e l'efficacia dei processi produttivi e di migliorare l'esperienza del cliente. La tecnologia AR consente di visualizzare in tempo reale informazioni sullo stato dei macchinari, sullo stato degli ordini e sulla posizione dei prodotti, migliorando la gestione delle catene di produzione. Inoltre, la realtà aumentata può migliorare l'esperienza del cliente in molti settori, come il retail, l'ospitalità e il turismo, creando esperienze interattive e personalizzate. Una delle prospettive più interessanti è quella dell'integrazione della tecnologia AR con l'intelligenza artificiale, che potrebbe consentire la creazione di esperienze ancora più personalizzate e interattive. Inoltre, la tecnologia AR potrebbe consentire la creazione di ambienti di lavoro virtuali, in cui i lavoratori possono collaborare a distanza e potrebbe essere utilizzata per migliorare la sicurezza sul lavoro. La realtà aumentata potrebbe inoltre avere un impatto significativo sulla formazione e l'istruzione, creando esperienze di apprendimento ancora più immersive e coinvolgenti.

- *Blockchain*

La blockchain è una tecnologia di archiviazione e trasmissione di dati che ha avuto origine nel 2008, grazie all'ideazione di Satoshi Nakamoto, che l'ha utilizzata per la creazione della criptovaluta Bitcoin. La blockchain è costituita da una catena di blocchi, cioè una serie di registri digitali, che contengono informazioni, documenti o transazioni. Questi blocchi sono creati, crittografati e convalidati da una rete distribuita di computer, senza la necessità di un intermediario centralizzato. L'innovazione della blockchain è la sua capacità di creare un registro distribuito e sicuro delle transazioni, utilizzando la crittografia per garantire l'integrità e l'immutabilità dei dati e la decentralizzazione per garantirne la sicurezza. La blockchain si basa sulla tecnologia di un database distribuito, in cui ogni partecipante alla rete ha una copia completa e costantemente aggiornata del registro che oltre a garantire decentralizzazione rende la trasmissione dei dati estremamente trasparente. Inoltre, i dati non possono essere modificati o eliminati una volta inseriti nella blockchain, ma solo aggiornati con una nuova transazione, che viene aggiunta come nuovo blocco alla catena. Questo garantisce l'immutabilità dei dati, ovvero la loro impossibilità di essere modificati senza il consenso di tutti i partecipanti alla rete.

Oltre a Bitcoin, la blockchain viene utilizzata in molti altri campi, come la gestione della supply chain, la creazione di registri immobiliari, l'identità digitale, la condivisione di dati sanitari, la gestione dei diritti d'autore, e molto altro ancora. Grazie alla sua capacità di creare registri immutabili, la blockchain garantisce la sicurezza dei dati e la riduzione delle frodi. Inoltre, grazie alla sua natura decentralizzata, riduce la necessità di intermediari, riducendo i costi e migliorando l'efficienza. La blockchain è strettamente collegata ad altre tecnologie dell'industria 4.0, come l'Internet of Things (IoT), l'intelligenza artificiale (AI), il cloud computing e la realtà aumentata (AR). Ad esempio, l'IoT può utilizzare la blockchain per la gestione delle transazioni tra i dispositivi, l'AI può utilizzare la blockchain per creare registri immutabili di decisioni e azioni, il cloud computing può utilizzare la blockchain per garantire

la sicurezza dei dati, e la realtà aumentata può utilizzare la blockchain per creare registri immutabili.

Il futuro della blockchain è molto promettente, secondo uno studio del World Economic Forum, entro il 2025, informazioni del valore equivalente al 10% del PIL globale saranno conservate sulla blockchain. Inoltre, la blockchain sarà una delle tecnologie più importanti per la trasformazione digitale, grazie alla sua capacità di ridurre la complessità dei processi, aumentare la trasparenza e la sicurezza dei dati, migliorare l'efficienza e ridurre i costi.

Questa è una tecnologia innovativa che ha il potenziale per rivoluzionare molti settori dell'economia globale. Grazie alla sua natura decentralizzata, alla crittografia e alla creazione di registri immutabili, la blockchain può migliorare la sicurezza, l'efficienza e la trasparenza delle transazioni e dei processi aziendali. Tuttavia, nonostante le sue promettenti applicazioni, la blockchain è ancora una tecnologia in fase di sviluppo, e ci sono ancora alcune sfide da superare. Ad esempio, la sua complessità e la mancanza di standardizzazione rendono difficile la sua adozione su larga scala. Inoltre, la sua natura decentralizzata rende difficile la regolamentazione e la gestione dei conflitti. Per superare queste sfide, sono necessarie ulteriori ricerche e sviluppi tecnologici. Uno dei principali campi di ricerca è la scalabilità della blockchain, ovvero la sua capacità di gestire grandi volumi di transazioni senza sacrificare la sicurezza e la decentralizzazione. Inoltre, la standardizzazione della blockchain è essenziale per facilitare la sua adozione su larga scala.

Tuttavia, la tecnologia blockchain resta innovativa, promettente e con il potenziale per cambiare il modo in cui vengono effettuate le transazioni e gestiti i dati in molti settori dell'economia globale. La sua capacità di creare registri immutabili, decentralizzati e sicuri rende la blockchain adatta per applicazioni in molti campi, ci si aspetta pertanto che la sua adozione continui a crescere nei prossimi anni.

CAPITOLO 2

LA BLOCKCHAIN

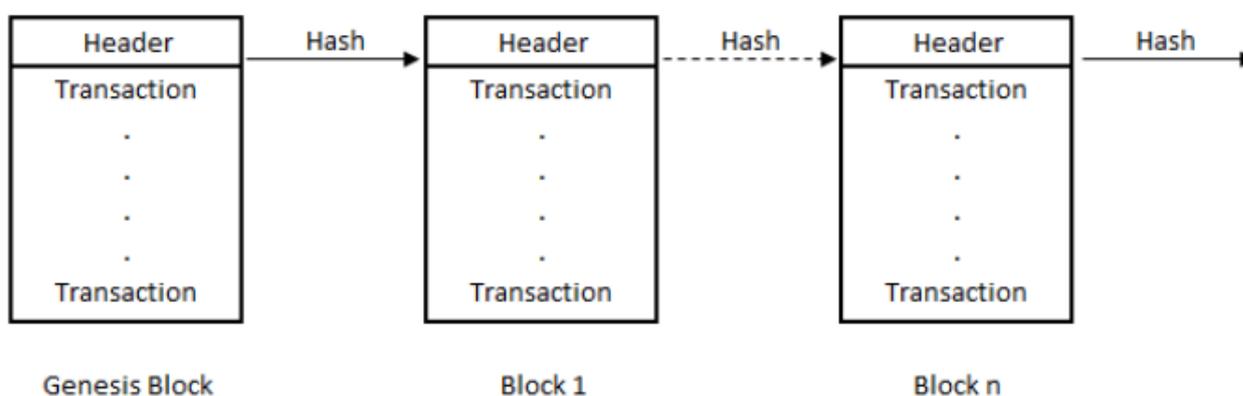
La tecnologia blockchain è una forma di database digitale distribuito che consente la registrazione e la condivisione sicura di informazioni tra una rete di computer. L'importanza della tecnologia blockchain si manifesta nella sua capacità di facilitare la gestione dei dati in modo decentralizzato e senza intermediazione, in questo modo i contributori dei dati (i nodi di una rete) non necessitano di un'entità centrale dedicata e fidata, attraverso il quale, normalmente, il trasferimento dei dati avverrebbe (Rosic, 2019). Questo la rende estremamente resistente alla manipolazione ed alla frode, in quanto ogni transazione è protetta da crittografia avanzata e verificata attraverso un consenso decentralizzato. Grazie alla sua sicurezza ed alla sua trasparenza, la tecnologia blockchain sta rivoluzionando diverse industrie offrendo un'alternativa affidabile ai sistemi centralizzati.

2.1 L'ORIGINE DELLA BLOCKCHAIN

L'origine della blockchain è dovuta ad un vecchio metodo di contabilità che utilizza il libro mastro. Una delle sfide principali per qualsiasi sistema di registrazione è il mantenimento di un timestamp affidabile ed immutabile che eviti frodi, falsificazioni, doppia spesa o contraffazione ma che allo stesso tempo abbia la capacità di confermare la proprietà di documenti scritti, scoperte o altre opere importanti come brevetti e certificati. Il timestamp deve anche essere in grado di registrare il momento della creazione e di tutte le successive modifiche della documentazione archiviata. Tali documenti possono essere facilmente manipolati se redatti in formato digitale e quindi, nel 1991, Haber e Stornetta hanno sviluppato l'idea di utilizzare funzioni di hash crittografiche per garantire l'integrità dei

timestamp dei documenti. L'essenza del loro lavoro consisteva nell'implementare un sistema mediante il quale i timestamp dei documenti potessero essere a prova di manomissione. Questo concetto è stato ulteriormente migliorato nel 1992, quando il Merkle Tree è stato incorporato nel loro progetto per ridurre lo spazio di archiviazione e il carico computazionale richiesto nelle fasi di convalida del processo di timestamp (Bayer et al., 1992). Il concetto di blockchain è stato ulteriormente sviluppato, migliorato e reso popolare da Nakamoto (2008), che nel suo white paper – “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System” - ha esteso il concetto di timestamp immutabile a un sistema di pagamento basato su moneta peer-to-peer (P2P). Le transazioni nel sistema di pagamento sono state aggregate in blocchi e i blocchi sono stati quindi collegati crittograficamente in una blockchain come mostrato nella Figura 1.

Figura 1: La blockchain



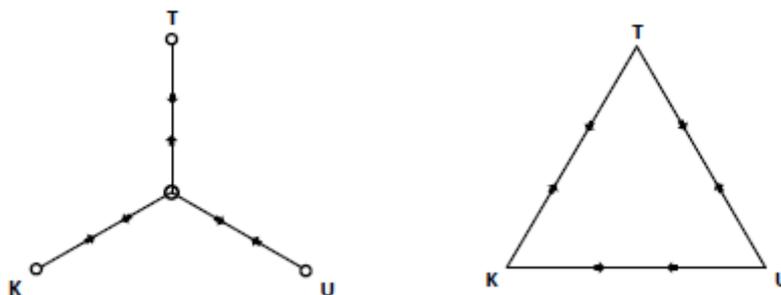
Fonte: Bitcoin Developer Reference

Il sistema di pagamento risolve anche il problema della doppia spesa (Nakamoto, 2008). La doppia spesa è un problema che nasce da una situazione in cui un individuo A ha solo x euro. Lui o lei dà a B, x euro, e tenta di dare a C gli stessi x euro. Mentre in denaro fisico ciò non sarebbe possibile, l'esistenza di fondi digitali in un libro mastro computerizzato è tale che è possibile manometterlo e spendere i soldi due o più volte. In un sistema di pagamento

decentralizzato in cui una copia del libro mastro è a disposizione di tutti i partecipanti, che devono accettare qualsiasi aggiunta o modifica del libro mastro, il problema della doppia spesa è risolto. Satoshi Nakamoto, una persona anonima o un gruppo di persone, attraverso il loro articolo, ha/hanno aperto il nuovo campo delle criptovalute e l'uso della tecnologia blockchain in applicazioni che richiedono trasparenza, verificabilità, resilienza e continuità, e non richiedono fiducia nella gestione di grandi quantità di dati (Nakamoto, 2008). La sicurezza necessaria è assicurata attraverso la crittografia, una vecchia pratica per cui un messaggio viene crittografato in modo tale da risultare incomprensibile a terzi. Protegge l'integrità e la segretezza delle informazioni in modo che solo coloro a cui è destinato possano elaborare, decifrare e leggere le informazioni. La crittografia è diventata un campo a sé stante, basato sulla teoria matematica e sull'informatica. La crittografia riguarda la riservatezza, integrità, non ripudio e autenticazione delle informazioni. Due aspetti chiave della crittografia nella tecnologia blockchain sono l'hashing e l'applicazione di chiavi pubbliche e private (Decent, 2019).

La crittografia, la decentralizzazione e l'immutabilità sono le chiavi del successo della blockchain e la rendono una tecnologia rivoluzionaria con molte applicazioni potenziali. Per illustrare in maniera molto semplificata il concetto di decentramento e disintermediazione, si consideri un individuo T, che vuole inviare x euro all'individuo U. U desidera inviare y euro ($y < x$) all'individuo K. T deve utilizzare una banca come un intermediario che collega T e U. La banca, tramite una banca corrispondente, deve essere certa che U esista effettivamente e possa avvalersi del denaro inviato da T. L'intermediazione è un processo che crea fiducia tra T, U e K. Tuttavia, i trasferimenti vengono effettuati a costo di tempo e denaro. L'individuo U riceverà un importo $x-s$ dove "s" è il costo del servizio dovuto alla banca. Inoltre, l'intermediazione ed il trasferimento possono richiedere giorni o settimane. Le operazioni illustrate nella Figura 2 (a sinistra) sono eseguite con il controllo di un intermediario.

Figura 2: Illustrazione di centralizzazione (sinistra) e decentralizzazione (destra)



Fonte: Bitcoin Developer Reference

È emerso un nuovo concetto che sconvolge la modalità tradizionale di trasferimento eliminando l'intermediario. Il sistema funziona come segue: T indicherà l'intenzione di trasferire x euro ad U. Tali informazioni verranno memorizzate come dati disponibili a T, U e K simultaneamente. Tutti i partecipanti verificheranno che T ha effettivamente l'importo x che deve essere trasferito ad U. Quelle informazioni sotto forma di dati creano il primo blocco. La transazione di U costituisce il secondo blocco collegato al primo. Analogamente, la transazione del partecipante K formerà il terzo blocco, da aggiungere ai blocchi precedenti. I blocchi collegati formano ciò che potrebbe essere concettualizzato come una catena di blocchi; da qui il nome blockchain. In realtà, T, U e K rappresentano tre di quello che potrebbe essere un gran numero di computer collegati. L'inserimento dei dati in uno, attraverso la creazione di un blocco, è disponibile contemporaneamente a ciascun computer partecipante (nodi) i quali sono anonimi. Una volta inseriti i dati e formato un blocco, non c'è modo di modificarli o violarli. Perché ciò accada, tutti i computer partecipanti nella rete devono concordare con la modifica. Le informazioni presenti sulla blockchain sono disponibili per ogni computer in modo tale che l'intermediazione (fiducia) sia resa inutile. La struttura della blockchain e la trasparenza della rete forniscono le necessarie tutele.

2.2 IL PROBLEMA DEI GENERALI BIZANTINI

In assenza di intermediazione, i computer partecipanti o i nodi della rete devono trovare un modo per raggiungere un consenso nella comunicazione. Questa è una sfida classica nell'informatica e comunicazione ed è indicato come il problema dei generali bizantini, inizialmente formulato in un paper essenziale da Lamport, Shostak e Pease (1982). Il problema è descritto figurativamente in termini di quattro o un numero qualsiasi di generali di un esercito bizantino che circonda una città di pesantemente difesa. La città può cadere solo se i generali acconsentono a lanciare un attacco coordinato ad un orario esatto. Perché ciò avvenga, sono necessarie due condizioni; comunicazione sicura e l'assenza di un traditore o di traditori i generali. Un generale può avviare la comunicazione indicando il giorno e l'ora dell'attacco. Un messaggero comunicherà la stessa informazione agli altri generali. Al corriere potrebbero succedere quattro cose. In primo luogo, potrebbe cadere in campo nemico ed essere eliminato, in tal caso nessun messaggio giungerebbe agli altri generali. In secondo luogo, il messaggero potrebbe essere compromesso e costretto a manomettere il messaggio, inviando un messaggio sbagliato ai generali. In terzo luogo, potrebbe semplicemente perdere il messaggio. In quarto luogo, può riuscire nella sua missione e consegnare il messaggio. Tuttavia, un generale disonesto può modificare il messaggio e inoltrarlo ad altri generali con il giorno e l'ora dell'attacco alterati. La confusione che ne deriva è che alcuni generali potrebbero lanciare l'attacco altri no, con conseguenze disastrose per l'esercito bizantino (Kwatra, 2017; Massessi, 2018). Il corollario del problema dei generali bizantini è che ogni generale rappresenta il nodo di una rete distribuita. I messaggi sono simili alle transazioni. I nodi che agiscono maliziosamente rappresentano la città della guarnigione nemica; la comunicazione difettosa è il risultato dell'azione del messaggero traditore. I partecipanti di una rete distribuita devono concordare lo stato attuale della rete in assenza di intermediazione centrale e devono essere certi della sicurezza dello scambio di informazioni in un ecosistema che ha attori disonesti. Byzantine Fault Tolerant è la proprietà di un sistema di resistere ai guasti che derivano da un problema dei generali bizantini, è la capacità di un

sistema di operare in una situazione in cui alcuni nodi non funzionano o agiscono in modo dannoso, in modo corrotto o ostile (Massessi, 2019). La tecnologia blockchain, attraverso l'applicazione di crittografia, matematica e informatica, risolve il problema dei generali bizantini utilizzando meccanismi di consenso.

2.3 LA STRUTTURA DELLA BLOCKCHAIN

La tecnologia della blockchain si basa su un protocollo di comunicazione che prevede l'utilizzo di un database distribuito, ovvero un sistema in cui i dati non sono memorizzati su un solo computer ma vengono archiviati su più macchine connesse tra loro, chiamate nodi. La blockchain è composta da una serie di blocchi che contengono transazioni validate e collegate da un marcatore temporale, il timestamp. Ogni blocco ha un hash univoco, che viene generato da una funzione algoritmica informatica non invertibile, la quale mappa una stringa di lunghezza arbitraria in una stringa di lunghezza predefinita. L'hash identifica in modo univoco il blocco e consente di collegarlo al blocco precedente.

I componenti basilari della blockchain sono:

- **Nodo:** sono i partecipanti alla blockchain e sono costituiti fisicamente dai server di ciascun partecipante.
- **Transazione:** è costituita dai dati che rappresentano i valori oggetto di “scambio” e che necessitano di essere verificati, approvati e poi archiviati.
- **Blocco:** è rappresentato dal raggruppamento di un insieme di transazioni che sono unite per essere verificate, approvate e poi archiviate dai partecipanti alla blockchain.
- **Ledger:** è il registro pubblico nel quale vengono “annotare” con la massima trasparenza e in modo immutabile tutte le transazioni effettuate in modo ordinato e

sequenziale. Il Ledger è costituito dall'insieme dei blocchi che sono tra loro incatenati tramite una funzione di crittografia e grazie all'uso di hash.

- **Hash:** è una operazione (non invertibile) che permette di mappare una stringa di testo e/o numerica di lunghezza variabile in una stringa unica ed univoca di lunghezza determinata. L'Hash identifica in modo univoco e sicuro ciascun blocco. Un hash non deve permettere di risalire al testo che lo ha generato.

Ogni blocco della blockchain contiene molteplici transazioni e possiede un Hash situato nell'header. Questo Hash registra tutte le informazioni relative al blocco e consente di collegarlo al blocco precedente, creando così una catena di blocchi. L'affidabilità è assicurata attraverso l'hashing, un processo mediante il quale le informazioni o i dati vengono codificati crittograficamente utilizzando un algoritmo matematico in modo tale che un input di qualsiasi lunghezza venga trasformato in un output di lunghezza fissa (Nelson, 2018). In una situazione del genere, de-crittografare i dati di output per elaborare i dati originali è praticamente impossibile (Fortney, 2019). Una funzione di hash ha le seguenti caratteristiche: il valore hash (output) cambia in modo imprevedibile quando i dati di input vengono modificati. È quindi pseudocasuale. I dati di input non possono essere recuperati dall'hash. È una funzione unidirezionale (Drescher, 2017). L'hashing nella rete Bitcoin viene utilizzato per diversi scopi. Innanzitutto, viene utilizzato per creare identificazioni di transazioni. L'hash di una transazione produce un ID transazione (TXID). In secondo luogo, l'hashing viene utilizzato per creare l'identificazione per i blocchi di una blockchain. Ogni blocco di una blockchain è identificato dall'hash di intestazione del blocco. Questo è chiamato hash del blocco. La struttura dell'intestazione del blocco è mostrata nella Figura 3. Nella Figura 3, i nomi hash sono presi dal Bitcoin Core Reference Client (Bitcoin Core Developer Reference). Il prefisso n indica che i campi sono variabili intere.

Figura 3: i campi di intestazione del blocco

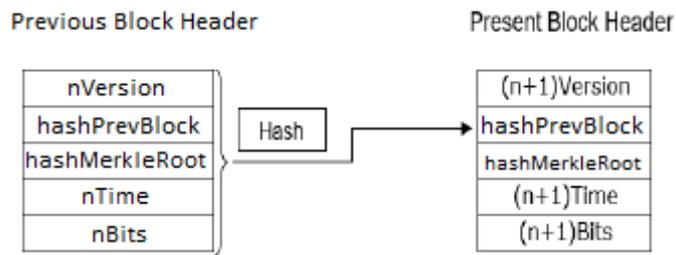
nVersion
hashPrevBlock
hashMerkleRoot
nTime
nBits
nNonce

Fonte: Bitcoin Developer Reference

I campi nell'intestazione del blocco rappresentano quanto segue: Il campo nVersion memorizza la versione corrente del blocco; il campo hashPrevBlock nell'intestazione del blocco contiene l'hash del blocco precedente nella blockchain; il campo hashMerkleRoot memorizza l'hash delle transazioni nel blocco; il campo nTime memorizza un timestamp in formato Unix time per registrare l'ora di creazione di un blocco in secondi totali contati dall'epoca Unix, 00:00:00 giovedì 1 gennaio 1970 e in cui ogni giorno è lungo 86400 secondi; e il campo nBits memorizza l'hash di destinazione corrente. Il minatore che è il primo a creare un hash inferiore o uguale all'hash target può aggiungere il blocco successivo alla blockchain. In crittografia, la parola *nonce* è usata per denotare un numero che viene usato solo una volta. Un minatore imposta un nonce nel campo nNonce corrente. L'intestazione del blocco viene quindi rielaborata. Il processo viene ripetuto fino a quando la soluzione soddisfa la restrizione, ovvero l'hash risultante è minore o uguale all'hash di destinazione.

L'hash del blocco del blocco precedente occupa l'hashPrevBlock del blocco corrente e, poiché il processo è ricorsivo, questo genera la blockchain che collega tutti i blocchi dal blocco genesis in su al blocco corrente. Questo collegamento è illustrato nella Figura 4.

Figura 4: Collegamento di blocchi nella Blockchain

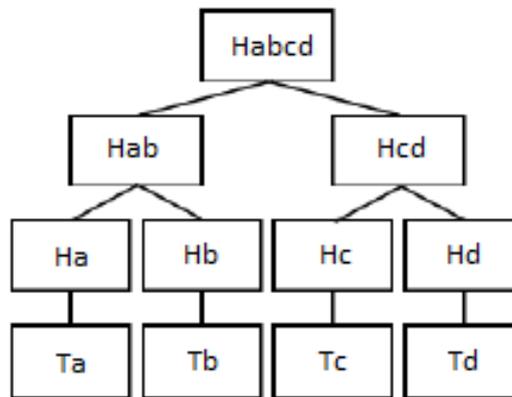


Fonte: Bitcoin Developer Reference

Per garantire la sua integrità, la blockchain utilizza una struttura chiamata “merkle tree”, essa è composta da una serie di nodi, ognuno dei quali rappresenta l'hash di un blocco di dati. Questi nodi sono collegati tra loro in modo gerarchico, fino a formare una radice che rappresenta l'intera struttura. In questo modo, qualsiasi modifica apportata a un blocco di dati influisce sull'intera struttura, rendendo molto difficile falsificare i dati presenti nella blockchain. Inoltre, la struttura di tipo Merkle tree è anche utilizzata per consentire una gestione efficiente delle transazioni, migliorando la velocità e la sicurezza delle transazioni in blockchain.

L'albero Merkle è composto da foglie, rami e la radice, come un albero, visualizzato capovolto. Ogni nodo foglia potrebbe essere considerato come rappresentante di una transazione. L'hash di una transazione costituisce il primo nodo non foglia o ramo. I nodi successivi o superiori non fogliari sono hash dei nodi del ramo superiore. L'esercizio viene ripetuto eseguendo l'hashing di coppie di hash inferiori finché nel punto più alto non viene lasciato un solo hash, l'hash radice o la radice di Merkle (Ray, 2017).

Figura 4: Illustrazione di un Merkle Tree



Fonte: Gardner, 2018

La figura 5 mostra l'albero di Merkle nella sua forma più semplice. Siano T_a , T_b , T_c e T_d transazioni separate e H_a , H_b , H_c e H_d rappresentino rispettivamente gli hash di T_a , T_b , T_c e T_d . Questi hash verrebbero uniti insieme e trasformati in una coppia, H_{ab} e H_{cd} . Questi due hash vengono combinati e sottoposti ad hashing per formare l'hash root o Merkle root H_{abcd} . L'hash radice o la radice Merkle memorizzata nel campo `hashMerkleRoot` dell'intestazione del blocco rappresenta un riepilogo dei dati che rappresentano tutte le transazioni (Gardner, 2018). La rete Bitcoin contiene due tipi di nodi; nodi completi e nodi SPV (Simple Payment Verification). I nodi completi memorizzano interi blocchi mentre i nodi SPV memorizzano solo le intestazioni di blocco. Quando i nodi SPV devono verificare l'appartenenza di una transazione in un blocco, consultano i nodi completi che rispondono con informazioni che, in combinazione con le informazioni nel campo `hashMerkleRoot` dell'intestazione del nodo SPV, consentono al nodo SPV di verificare l'appartenenza a una transazione (Bitcoin Developer Reference, n.d.).

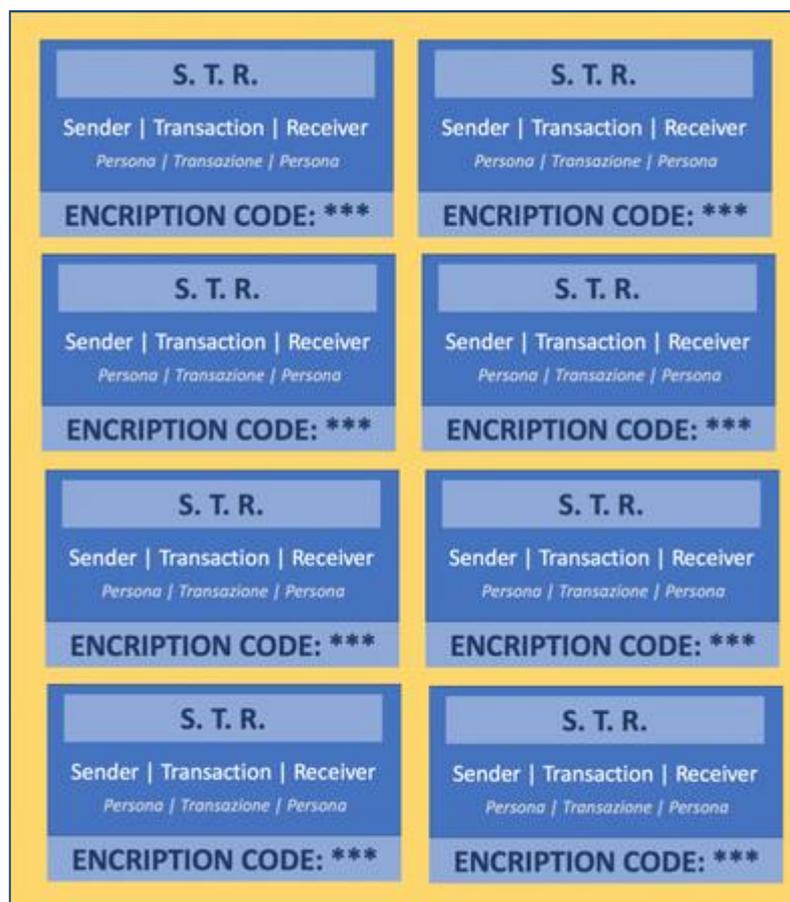
Le transazioni, invece, contengono informazioni sull'indirizzo pubblico del destinatario, le specifiche della transazione e una firma crittografica che garantisce la sicurezza e l'autenticità della transazione. La blockchain può essere vista come un registro pubblico e condiviso composto da diversi client o nodi. La blockchain è strutturata per aggiornarsi automaticamente su tutti i client che fanno parte del network. Ogni operazione effettuata

deve essere confermata da tutti i nodi del network tramite software di crittografia. Questi software verificano un pacchetto di dati definiti a chiave privata o seme, utilizzati per firmare le transazioni, garantendo l'identità digitale di chi ha autorizzato tali operazioni.

I componenti della transazione blockchain sono un *sender* ovvero la persona che avvia il processo di transazione, una *transaction* ossia la transazione come processo ed un *receiver* ovvero la persona che ottiene la transazione.

Un blocco va inteso come un treno formato da più vagoni, dove ogni vagone rappresenta una transazione a sua volta composta sempre dai tre passaggi della procedura: persona che avvia la transazione, la transazione e la persona che riceve la transazione.

Blocco che raggruppa diverse transazioni



Fonte:Blockchain4innovation

L'unione di ogni blocco ad un altro blocco costituisce la vera e propria blockchain, la catena di blocchi per l'appunto.

Perché un nuovo blocco di transazioni sia aggiunto alla blockchain è necessario che sia controllato, validato e crittografato. Solo con questo passaggio può poi diventare attivo ed essere aggiunto alla blockchain. Per effettuare questo passaggio, è necessario che ogni volta che viene composto un blocco venga risolto un complesso problema matematico che richiede un cospicuo impegno anche in termini di potenza e di capacità elaborativa. Questa operazione viene definita come Mining ed è svolta dai Miner. Il lavoro del Miner è assolutamente fondamentale nell'economia della gestione delle blockchain. Chiunque può diventare un Miner e può competere per essere il primo a risolvere il complesso problema matematico legato alla creazione di ogni nuovo blocco di transazioni in modo valido e crittografato che possa essere aggiunto alla blockchain.

Poiché il mining di criptovalute richiede un notevole impegno, è necessario remunerare e incentivare i miner. Nelle blockchain Private o Permissioned, il ruolo di incentivare i miner spetta all'autorità che attiva la blockchain, in base alla governance stabilita. Nelle blockchain Pubbliche o Permissionless, qualsiasi partecipante può diventare un miner e viene incentivato in base alle regole o alla governance della specifica blockchain. Di solito, il primo miner che crea un blocco valido e lo aggiunge alla catena viene ricompensato con la somma delle commissioni per le transazioni contenute nel blocco. Le commissioni sono calcolate per ogni singola transazione, ma un blocco può contenere migliaia di transazioni; quindi, la ricompensa del miner può essere molto alta. In alcuni casi, i miner possono anche ricevere nuove valute create come meccanismo di inflazione. Quando un nuovo blocco viene aggiunto alla catena, viene aggiornato il libro mastro detenuto da tutti i partecipanti alla blockchain. Tutti i partecipanti accettano il nuovo blocco solo dopo la risoluzione di un complesso problema matematico che garantisce la validità di tutte le transazioni. Se viene rilevato un errore, un'anomalia o una discrepanza durante il processo di verifica, il blocco viene rifiutato e tutti i partecipanti vengono informati che la transazione non è stata autorizzata. Altrimenti,

se tutte le transazioni sono validate, il blocco viene creato e aggiunto alla blockchain come record pubblico permanente e immutabile, che non può essere modificato o rimosso da nessun partecipante. L'immutabilità è l'altro grandissimo valore della blockchain che ovviamente attiene anche alla sicurezza dei dati. E se torniamo all'esempio precedente della transazione con invio di x euro da T ad U ci dobbiamo ricordare che per cambiare, danneggiare o distruggere un ente libro mastro centralizzato è necessario violare l'autorità centrale che lo gestisce, nel caso della blockchain è invece impossibile in quanto sarebbe necessario violare tutte le copie del libro mastro possedute da tutti i partecipanti della blockchain e occorrerebbe farlo simultaneamente. Una operazione che è praticamente impossibile, anche se ovviamente occorre valutare la dimensione della blockchain in termini di partecipanti ovvero di nodi. Nello stesso tempo, non può nemmeno esistere un falso Libro Mastro in quanto tutti i partecipanti sono in possesso di una unica versione autentica che possono impugnare per un confronto e per la verifica. Ecco che arriviamo al concetto di Trust e di fiducia. La fiducia e il controllo delle transazioni passano dall'autorità centrale a tutti i partecipanti. Le transazioni basate sulla blockchain non sono centralizzate e nascoste o chiuse ma sono decentralizzate, trasparenti ed aperte a tutti. In questo caso, la blockchain è di tipo Permissionless, cioè senza autorizzazioni e non esiste nessuna autorità speciale che può negare l'autorizzazione a partecipare al controllo e all'aggiunta di transazioni. L'obiettivo delle Permissionless Ledger è quello di permettere a ciascuno di contribuire all'aggiornamento dei dati sul Ledger e di disporre, in qualità di partecipante, di tutte le copie immutabili di tutte le operazioni. Ovvero di disporre di tutte le copie identiche di tutto quanto viene approvato grazie al consenso. Questo modello di blockchain impedisce ogni forma di censura, nessuno è nella condizione di impedire che una transazione possa avvenire e che possa essere aggiunta al Ledger una volta che ha conquistato il consenso necessario tra tutti i nodi (partecipanti) alla blockchain. Le Permissionless Ledger possono essere utilizzate come database globale per tutti quei documenti che hanno la necessità di essere assolutamente immutabili nel tempo a meno di aggiornamenti che richiedono la massima sicurezza in termini di consenso, come ad esempio i contratti di proprietà o i testamenti.

Le blockchain che invece necessitano di autorizzazioni sono definite come Permissioned e definiscono delle governance che attribuiscono a uno specifico gruppo di operatori la gestione e l'autorità nel definire gli accessi, i controlli, le autorizzazioni e soprattutto la possibilità di aggiungere transazioni al Libro Mastro. Le blockchain Permissioned possono unire i valori di trasparenza, di immutabilità e di sicurezza delle blockchain garantendo a determinati soggetti come Banche, imprese e Pubbliche Amministrazioni la possibilità di un controllo, anche rilevante e sostanziale, sulle modalità di esecuzione delle transazioni. In questo caso le Permissioned Ledger rispondono alle necessità di un aggiornamento diffuso su più attori che possono operare in modo indipendente, ma con un controllo limitato a coloro che sono autorizzati. Le Permissioned Ledger permettono poi di definire speciali regole per l'accesso e la visibilità di tutti i dati. In altre parole, le Permissioned Ledger introducono nella blockchain un concetto di governance e di definizione di regole di comportamento.

2.4 LA SOLUZIONE AL PROBLEMA DEL DOUBLE SPENDING

Ben prima dell'arrivo del white paper di Satoshi Nakamoto abbiamo avuto numerosi progetti ed esperimenti di transazioni digitali con "monete digitali" che per tanti aspetti sono risultati anche positivi e significativi. Tuttavia, tutti i progetti realizzati si scontravano contro il problema irrisolto del double spending, il quale risultava essere la prova più difficile.

Il digitale, in quanto duplicabile all'infinito a costi marginali estremamente bassi, ha inaugurato l'era dell'economia immateriale che si basa proprio sulla capacità di rendere disponibile un bene o un servizio (un software, un testo, un brano musicale) tanto ad un cliente quanto ad un numero illimitato di clienti esattamente nella stessa identica forma ed a costi marginali infinitamente più bassi rispetto alle logiche del mondo materiale. Quest'opportunità ha rivoluzionato numerose industrie e rappresenta il cuore della digital

transformation. Tuttavia, questa duplicabilità infinita comporta anche dei limiti importanti, poiché la sicurezza del rispetto delle regole di business e di etica è messa in discussione dalla possibilità di duplicare qualsiasi bene digitale. Ad esempio, se una canzone o un'applicazione sono duplicati in modo non autorizzato, sorgono problemi sia dal punto di vista etico che di business. Se poi ad essere duplicata è una moneta, ovvero se con la stessa moneta si ha la possibilità di pagare due o più volte per beni diversi, allora appare evidente come si tratti di un problema che intacca qualsiasi tipo di relazione commerciale. Il concetto di Double Spending riguarda la prevenzione dall'utilizzo ripetuto di un asset "monetario" digitale per acquisti multipli, come avviene con le monete tradizionali il cui passaggio da una persona all'altra implica il trasferimento di valore per merce o servizi. Nelle *digital currency standard*, le banche si occupano di garantire l'avvenuto trasferimento di valore dai nostri rispettivi conti a quelli dei venditori utilizzando sistemi di pagamento più o meno complessi. Tuttavia, nelle *pure digital currency*, il Double Spending viene risolto attraverso strumenti di tracciabilità che possono comportare rischi. L'intuizione principale di Satoshi Nakamoto, è stata quella di impedire il Double Spending, ovvero l'uso duplicato della stessa moneta per l'acquisto di due beni diversi da parte della stessa persona. La risoluzione di questo problema è dovuta all'identità della moneta stessa, che viene gestita dalla crittografia del bitcoin e delle diverse blockchain, con un codice ID specifico, il suo nome e cognome e una sua storia. Ad esempio, se Marco compra un pasto con la moneta A (ID: 754490), la transazione verrà registrata e archiviata insieme ai dati identificativi del venditore e dell'acquirente, e la moneta A (ID: 754490) si arricchirà di queste informazioni. Questo permetterà di evitare che la stessa moneta venga utilizzata per un altro acquisto da parte di Marco o da altri utenti, in quanto l'identità della moneta è unica e non può essere duplicata. Immagina che le banconote nel nostro portafoglio, i soldi nel nostro conto corrente online e quelli gestiti dalle nostre app di portafogli elettronici potessero comunicare e descrivere tutte le transazioni che sono state effettuate. Nonostante le critiche iniziali nei confronti della Blockchain di Bitcoin, accusata di facilitare pagamenti illeciti, è chiaro che una volta risolto il problema dell'identità dei partecipanti alla Blockchain (cioè di garantire che chi si registra come Marco è effettivamente

la persona con quel nome e cognome), la Blockchain di Bitcoin e di altre criptovalute rappresentano il modo più sicuro e tracciabile per effettuare transazioni finanziarie.

2.5 MECCANISMI DI CONSENSO

In una blockchain, diversi attori sono coinvolti e affinché la blockchain funzioni in modo autonomo e si autoregoli, è necessario un meccanismo sicuro e affidabile per garantire che le transazioni aggiunte alla blockchain siano autentiche e accettate da tutti o dalla maggioranza degli operatori. Questa rete di nodi è stata precedentemente descritta come un sistema *Byzantine Fault Tolerant*. Il meccanismo del consenso stabilisce le regole per la partecipazione dei vari attori nell'aggiornamento dello stato del sistema distribuito blockchain. Ci sono diversi protocolli di consenso che differiscono a seconda che la blockchain sia pubblica o privata (Baliga, 2017).

Uno dei tre protocolli di consenso è Proof-of-Work (PoW). Esso permette a migliaia di partecipanti anonimi e totalmente diffidenti di raggiungere un accordo sullo stato dell'ultima blockchain aggiornata. Il protocollo PoW viene utilizzato nel mining di Bitcoin da nodi di rete chiamati "miner". Attraverso il mining, nuovi blocchi sono aggiunti alla blockchain e ogni blocco è identificato dalla sua altezza, ovvero il numero di blocchi che lo precedono. Il blocco genesi ha un'altezza pari a zero (0). Supponendo che un nodo miner voglia creare un nuovo blocco candidato ad unirsi alla blockchain all'altezza N, sarà necessario assegnare al campo hashPrevBlock del blocco candidato l'hash del blocco all'altezza N-1. Il campo hashMerkleRoot del blocco candidato verrà popolato dal MerkleRoot delle transazioni del blocco candidato. Il campo Time sarà invece utilizzato per indicare, nel formato Unix time, il timestamp di creazione del blocco candidato. Il fine dei miner consiste nell'iterare il valore del campo nNonce al fine di generare blocchi candidati che soddisfino l'obiettivo di avere un hash di blocco inferiore o uguale alla soglia target. Il miner che riesce a trovare un blocco

valido che può essere integrato nella blockchain all'altezza N viene compensato con bitcoin appena conati, e la somma del block subsidy e delle commissioni di transazione del blocco costituisce la ricompensa per il blocco minato (Bitcoin Developer Reference, n.d.).

Per aggiungere un nuovo blocco alla blockchain (mining), è necessario risolvere un problema computazionale utilizzando l'algoritmo Proof-of-Work (PoW). Questo richiede la ricerca iterativa attraverso un gran numero di hash di blocchi candidati. Il mining prevede l'uso di hardware specializzati, circuiti integrati specifici dell'applicazione (ASIC), per risolvere l'algoritmo PoW. Gli alti costi di calcolo e hardware rendono il mining molto costoso. In un sistema PoW, in media, viene aggiunto un blocco alla blockchain ogni 10 minuti. Il numero di transazioni al secondo (TPS) è 3.

Nel creare il codice sorgente di bitcoin, Satoshi Nakamoto ha deciso che il premio per i nuovi blocchi minati sarebbe stato di 50 bitcoin per blocco per i primi 210.000 blocchi (Vijayakumaran, 2017). La decisione di limitare il numero di blocchi da estrarre, proprio come nel mining convenzionale, aveva lo scopo di evitare l'inflazione. Poiché viene aggiunto un nuovo blocco ogni 10 minuti, ci vogliono circa quattro anni per estrarre 210.000 blocchi. Il premio per l'estrazione dei successivi 210.000 blocchi è stato dimezzato e viene dimezzato progressivamente ogni 210.000 blocchi. Da luglio 2016 il premio in bitcoin è stato di 12,5 BTC ed è stato dimezzato a 6,25 nel maggio 2020. La più piccola unità indivisibile della valuta bitcoin è un satoshi per cui un bitcoin equivale a 108 satoshi. Il premio per aver minato un nuovo blocco viene progressivamente dimezzato ed alla fine diventerà inferiore ad 1 satoshi. Questo dovrebbe avvenire intorno all'anno 2140.

Proof-of-Stake (PoS), di cui esistono molte versioni, è un altro algoritmo di consenso (Baliga, 2017). I sistemi PoS sono stati progettati per superare le inefficienze associate ai sistemi PoW, per quanto riguarda i costi computazionali, energetici e hardware. Non c'è mining nei sistemi PoS. Un sistema PoS dà la preferenza per l'aggiunta del blocco successivo alla blockchain a coloro i quali hanno in Stake più monete di quella specifica criptovaluta.

I partecipanti vengono scelti per produrre il blocco successivo in base alla quantità di criptovaluta che hanno bloccato in stake. Ogni blocco ha quindi un produttore unico, a differenza del metodo di proof of work. L'idea alla base della proof of stake è che avere una grande quantità di scorte già bloccate fornisce un incentivo per produrre blocchi onestamente. Se un produttore di blocchi agisse male, sarebbe penalizzato perdendo le proprie scorte bloccate. Ciò riduce i costi dei consumi di energia e dell'hardware necessario alla produzione di blocchi in proof of work (Vitalik Buterin, 2014).

Il Delegated Proof-of-Stake (DPoS) è un altro meccanismo di consenso, un'alternativa al PoS. Non esiste mining associato ai sistemi DPoS. La particolarità di DPoS è che i nodi partecipanti votano per eleggere delegati, o testimoni che sono responsabili della generazione e dell'aggiunta di blocchi alla blockchain. Il numero di delegati è quello che soddisfa almeno il 50% dei nodi che hanno raggiunto un sufficiente decentramento. I delegati sono anche responsabili della supervisione e della manutenzione del sistema. A differenza del PoS, i testimoni Delegated Proof-of-Stake non competono intensamente nell'aggiungere il blocco successivo alla blockchain. Come tale è un sistema a risparmio energetico.

2.6 SMART CONTRACT

Gli Smart Contract sono una tecnologia che ha avuto i primi prototipi già negli anni '90 grazie alle evoluzioni tecnologiche che hanno permesso sperimentazioni su piccola scala. Tuttavia, l'idea dei Contratti Intelligenti nasce a metà degli anni '70 per rispondere alla necessità di attivare o disattivare una licenza software sulla base di condizioni programmate. In sostanza, l'utilizzo dei software avveniva attraverso una chiave digitale che consentiva il loro funzionamento solo se l'utente aveva effettuato il pagamento della licenza, disabilitandoli in caso contrario o alla scadenza del contratto. Queste prime applicazioni dimostrano le grandi possibilità offerte dagli Smart Contract in vari ambiti, ma in particolare nelle transazioni

digitali dove garantiscono la sicurezza e l'automazione di tutti i processi. Uno smart contract è un algoritmo software che viene integrato all'interno di una blockchain e rappresenta un insieme di regole definite in precedenza dalle parti coinvolte. In pratica, gli smart contract costituiscono accordi digitali, in cui sono specificate le azioni che devono essere intraprese quando si verificano determinate condizioni. Una volta che le clausole del contratto vengono codificate nella blockchain, esse diventano immutabili e, a differenza dei contratti tradizionali, non possono essere modificate, cancellate o alterate in alcun modo. Questa caratteristica offre un elevato livello di affidabilità e trasparenza nelle transazioni commerciali, riducendo al minimo il rischio di possibili frodi o errori. La grande innovazione degli smart contract risiede nella loro capacità di eseguire automaticamente le clausole contrattuali appena le condizioni predefinite vengono soddisfatte. Ciò significa che non ci sono intermediari o autorità centrali necessarie per effettuare le transazioni, il che riduce notevolmente i costi e accelera il processo di scambio di beni e servizi. Poiché questi contratti vengono eseguiti attraverso algoritmi digitali, è necessario stabilire normative e regimi legali che li riconoscano come valide forme di contratto.

Gli Smart Contract sono strumenti digitali che, sebbene abbiano bisogno di un supporto legale per la loro stesura, non necessitano di una verifica o attivazione legale poiché sono autonomi ed eseguiti automaticamente dalle persone coinvolte. Essi costituiscono un insieme di regole e di comportamenti standard che regolano l'accesso ad una serie di servizi. Inoltre, il loro utilizzo non è limitato al semplice sviluppo di servizi tradizionali, ma verranno utilizzati anche per la creazione di servizi innovativi che semplificheranno ed ottimizzeranno le operazioni digitali tra le parti coinvolte. In questo modo, gli Smart Contract diventano uno strumento versatile ed efficace per attuare accordi e stabilire regole che coinvolgono numerose parti. Uno Smart Contract è la *“traduzione”* o *“trasposizione”* in *codice* di un contratto in modo da verificare in automatico l'avverarsi di determinate condizioni (controllo di dati di base del contratto) e di auto-eseguire in automatico azioni (o dare disposizione affinché si possano eseguire determinate azioni) nel momento in cui le condizioni

determinate tra le parti sono raggiunte e verificate. In altre parole, lo Smart Contract è basato su un codice che “*legge*” sia le clausole che sono state concordate sia la condizioni operative nelle quali devono verificarsi le condizioni concordate e si auto-esegue nel momento in cui i dati riferiti alle situazioni reali corrispondono ai dati riferiti alle condizioni e alle clausole concordate.

Uno dei motivi per cui gli Smart Contract richiedono una descrizione dettagliata delle circostanze, delle condizioni e delle situazioni è perché l'assenza di un intervento umano significa anche la mancanza di un contributo interpretativo. Di conseguenza, la gestione dei dati e dei Big Data diventa un fattore critico essenziale per garantire la qualità dello Smart Contract. Inoltre, per gli Smart Contract è importante definire in modo preciso le fonti di dati cui il contratto fa riferimento. Queste fonti sono in genere definite e certificate dalle parti coinvolte, e devono essere individuate, controllate, interpretate e lette dallo Smart Contract sulla base di precisi criteri. Questi criteri rappresentano una delle parti più rilevanti e strategiche del contratto, in quanto determinano l'output finale del sistema. Pertanto, una descrizione accurata e dettagliata delle regole per l'utilizzo dei dati è essenziale per assicurare la corretta esecuzione degli Smart Contract.

La differenza fondamentale tra un contratto tradizionale e uno Smart Contract risiede nel fatto che quest'ultimo è generato dall'esecuzione di un codice informatico. Attraverso la programmazione, il processo viene elaborato in modo preciso e deterministico, garantendo risultati identici alle stesse condizioni in ogni circostanza. Questo aspetto è di enorme importanza perché, da un lato, offre alle parti coinvolte una sicurezza assoluta, escludendo qualsiasi forma di ambiguità o interpretazione soggettiva. Dall'altro, tuttavia, sposta la responsabilità - o addirittura il potere decisionale - sulla programmazione stessa, con conseguente impatto sulla gestione e il controllo del processo. In altre parole, lo Smart Contract rappresenta un notevole passo avanti in termini di trasparenza e certezza, ma richiede una attenzione particolare nella fase di sviluppo del programma.

Ai contraenti spetta il compito di definire condizioni, clausole, modalità e regole di controllo e azione, ma una volta che il loro contratto è diventato codice e dunque uno Smart Contract e i contraenti lo accettano ecco che gli effetti non dipendono più dalla loro volontà.

Un esempio concreto proviene dal settore delle assicurazioni per autoveicoli, dove l'utilizzo di dispositivi IoT a bordo delle vetture consente di raccogliere una vasta gamma di dati sul comportamento dei conducenti. Questi dati possono poi essere utilizzati per applicare condizioni di vantaggio o svantaggio ai contratti. Ad esempio, se un conducente supera i limiti di velocità stabiliti dal contratto, questo può essere interpretato come un comportamento pericoloso e portare alla modifica delle condizioni contrattuali, come un aumento del premio assicurativo. In questo modo le compagnie assicurative possono incentivare i conducenti ad adottare un comportamento più sicuro alla guida, con vantaggi sia per il cliente che per l'assicuratore.

Un altro esempio arriva dal mondo dei media dove con i Digital Rights Management viene gestita la erogazione e l'accesso a determinati servizi multimediali.

Affinché lo Smart Contract adempia efficacemente il suo compito, esso deve fornire una serie di garanzie a tutte le parti coinvolte. In particolare, allo stadio iniziale lo Smart Contract deve garantire che il codice su cui si basa non possa essere alterato, che le sorgenti di dati che determinano le condizioni di utilizzo siano affidabili e certificate, e che le modalità di consultazione e controllo di tali sorgenti siano a loro volta certificate. Lo Smart Contract deve essere preciso e dettagliato in ogni suo punto, sia nella sua stesura sia nella gestione delle regole che ne determinano l'applicazione e delle regole che devono governarne le eventuali anomalie.

Gli Smart Contract così come li conosciamo oggi hanno bisogno della blockchain per garantire quel "trust" nei rapporti tra le varie parti che non arriva più da una "terza parte" centralizzata, ma dalla comunità stessa dei partecipanti alla Rete. Tutti però hanno bisogno di conoscenza, ovvero di modelli di sviluppo che permettano a questo strumenti di automatizzare le relazioni

tra le diverse parti per aumentare la capacità di conoscere i significati e per ridurre costantemente i rischi di errore o di “cattiva interpretazione”.

Ecco che in questo senso uno degli orizzonti più importanti arriva dall’unione della ricerca tra il mondo della blockchain e quello della semantica che aiuta i sistemi ad avvicinare in modo sempre più preciso la comprensione dei “significati”. Grazie alle soluzioni per il meta-learning applicate al settore degli smart contract si avvicinano Intelligenza Artificiale, machine Learning e blockchain. In questo modo il concetto di contratto automatico passa dal livello di automatismo intelligente alla forma di contratto semantico, ovvero assume la forma di automatismo programmato per apprendere e per modificare il proprio comportamento in funzione delle nozioni acquisite. Grazie a questa soluzione gli Smart Contract possono ridurre le possibilità di errori e possono aumentare allo stesso tempo la conoscenza dei contenuti da parte dei sistemi e con questo modificare il modo in cui vengono preparati e scritti i contratti stessi per arrivare a nuove forme automatizzate di scrittura basate proprio sui principi di apprendimento semantico.

2.7 GLI AMBITI APPLICATIVI DELLA BLOCKCHAIN

La blockchain è una tecnologia rivoluzionaria che ha il potenziale di trasformare numerosi settori e ambiti applicativi. L'uso della tecnologia blockchain può essere applicato in molti settori tra cui la finanza, la logistica, la salute, l'energia e l'agricoltura. In questo modo, la blockchain può essere utilizzata per proteggere le transazioni finanziarie, migliorare la trasparenza, l'efficienza e aumentare la sicurezza delle informazioni. Inoltre, l'utilizzo della blockchain può incoraggiare l'innovazione, la collaborazione e la fiducia tra i vari settori rendendola una tecnologia con molte potenziali applicazioni future.

- *Blockchain in banche e finanza*

La blockchain è una tecnologia rivoluzionaria che ha il potenziale di trasformare completamente settori tradizionali come la finanza e l'economia. Essa presenta numerose opportunità per le banche e per gli istituti finanziari che potrebbero beneficiare della tecnologia per semplificare le loro attività e migliorare la gamma di servizi offerti. Inoltre, la blockchain potrebbe aumentare la velocità delle transazioni internazionali, riducendo i tempi di elaborazione dei pagamenti e semplificando le procedure per le aziende che operano in diversi paesi. Secondo una ricerca di PwC: "Le banche su blockchain", "una nuova tecnologia di libri mastri distribuita può ridurre i costi e rischi operativi, migliorare la conformità e offrire anche nuovi servizi. Le banche dovrebbero assicurarsi di comprendere appieno la tecnologia e sviluppare una strategia per incorporarla in modo strategico". Le banche che investono nella tecnologia blockchain acquisiranno un vantaggio competitivo e potrebbero diventare leader di mercato.

Secondo un rapporto di Deloitte, "Blockchain and Financial Services", nel 2025 la tecnologia blockchain avrà un impatto diretto sui volumi di transazioni per il 10% delle banche globali. Il rapporto spiega come "La blockchain si è evoluta da un fenomeno relativamente oscuro, con cospirazioni e controversie pubblicizzate dai mass media, ad essere un tecnologia sempre più mainstream, che diventa di interesse per le organizzazioni finanziarie". Inoltre, il rapporto afferma che la blockchain potrebbe avere applicazioni per agevolare il finanziamento delle piccole e medie imprese (PMI) e contribuire a ridurre il gap tra i paesi sviluppati e quelli in via di sviluppo. Le PMI rappresentano il 99% delle aziende in tutti i paesi, ma hanno difficoltà ad accedere ai servizi finanziari tradizionali offerti dalle banche.

Anche il settore dell'economia potrebbe trarre beneficio dalla tecnologia della blockchain. Ad esempio, la blockchain potrebbe aiutare a migliorare l'e-commerce,

semplificando le transazioni di acquisto e vendita online. Inoltre, la blockchain potrebbe contribuire a garantire la sicurezza delle informazioni personali degli utenti e ad agevolare la gestione delle imprese attraverso contratti intelligenti.

- *Blockchain nelle assicurazioni*

La blockchain rappresenta un'importante innovazione tecnologica capace di offrire alle compagnie di assicurazione una serie di vantaggi significativi. In primo luogo, l'utilizzo della blockchain consente di accedere a transazioni sicure e decentralizzate, garantendo una maggiore efficienza nella prevenzione delle frodi e una governance più solida. Inoltre, grazie alla blockchain, le compagnie assicurative possono beneficiare di notifiche tempestive e precise sui cambiamenti, migliorando così la gestione del rischio e massimizzando le opportunità di capitali e fondi. La tecnologia blockchain consente anche di adottare strategie di Big Data, fornendo informazioni sicure sui propri clienti, sulle loro priorità e preferenze, e su informazioni supplementari prese da terze parti. Le compagnie di assicurazione vedono nella blockchain un'opportunità per ridurre i costi delle loro piattaforme di gestione, migliorando contemporaneamente l'esperienza utente e la quota di mercato. Inoltre, la tecnologia blockchain offre la possibilità di sviluppare nuove soluzioni e opportunità, integrando un ecosistema di terze parti. Infine, la blockchain offre un supporto decisivo nella governance delle aziende, attraverso l'accesso ai dati migliorati, il controllo di terze parti, e una serie di sistemi sofisticati di gestione del rischio associati ai prodotti e servizi delle compagnie assicurative, come ad esempio le assicurazioni cibernetiche. Essendo nella sua fase iniziale, il potenziale della tecnologia blockchain rimane ancora poco sfruttato, ma si prevede che, nei prossimi anni, le compagnie assicurative sfrutteranno appieno le opportunità offerte dalla tecnologia blockchain, cercando di proporre nuovi servizi e soluzioni sempre più aderenti alle mutevoli esigenze del mercato assicurativo.

- *Blockchain nei pagamenti digitali*

La blockchain sta diventando sempre più centrale in molti settori, tra cui quello dei pagamenti digitali. La tecnologia ha il potenziale di offrire un'alternativa a lungo termine ai tradizionali metodi di pagamento digitale che dipendono dagli intermediari finanziari. La blockchain consente di effettuare transazioni peer-to-peer (P2P) senza la necessità di coinvolgere le banche o le altre parti autorizzate, aumentando sicurezza, tracciabilità e la velocità di elaborazione delle transazioni.

Nonostante le promesse della blockchain, tuttavia, ci sono ancora molte sfide che vanno affrontate per la sua piena adozione nel settore dei pagamenti digitali. Una delle questioni fondamentali riguarda la velocità di elaborazione delle transazioni. Attualmente, molte blockchain sono note per essere molto lente e potrebbero quindi non essere in grado di far fronte alle esigenze dei mercati moderni che necessitano di transazioni immediate. Ci sono state alcune preoccupazioni riguardanti la scalabilità delle tecnologie blockchain, in quanto la crescita della rete potrebbe significare una diminuzione delle performance. Un'altra sfida che gli operatori di pagamenti digitali dovranno affrontare riguarda la necessità di sviluppare normative che possano guidare l'implementazione della blockchain nel settore dei pagamenti digitali. La creazione di una normativa semplice e trasparente è essenziale per ridurre l'incertezza e la diffidenza dei consumatori e delle imprese nei confronti della nuova tecnologia. Le regolamentazioni adeguate possono anche incentivare lo sviluppo di una blockchain più sicura. Le autorità di regolamentazione e le organizzazioni che operano nel settore dei pagamenti digitali devono lavorare insieme per sviluppare una normativa che possa essere adattata ai mutamenti tecnologici.

La blockchain ha anche il potenziale di offrire una risposta alle preoccupazioni sull'autenticazione delle transazioni, in quanto garantisce una tracciabilità completa delle transazioni. La blockchain ha il potenziale di rendere le transazioni più sicure e di

prevenire frodi o transazioni fraudolente. Inoltre, la tecnologia blockchain offre il vantaggio di una maggiore efficienza nei pagamenti digitali, riducendo la necessità di intermediari e limitando così i tempi di transazione.

Esistono anche diverse opportunità per la blockchain nel settore dei micropagamenti, in cui gli importi coinvolti sono relativamente bassi. La blockchain consente di elaborare transazioni di importi molto bassi, riducendo così i costi delle transazioni e aumentando l'efficienza. Inoltre, la blockchain offre la possibilità di elaborare transazioni globali a costi molto bassi, consentendo ai consumatori in tutto il mondo di effettuare pagamenti con una maggiore facilità.

Inoltre, la tecnologia blockchain può intervenire anche in altre problematiche del mondo dei pagamenti, come la riduzione dei tempi di elaborazione delle transazioni e la gestione dei rischi. La blockchain offre un sistema crittografico che garantisce la sicurezza delle informazioni, riducendo così il rischio di frodi o violazioni dei dati. Inoltre, la blockchain offre un sistema che consente la creazione di registri distribuiti e permanenti dei dati delle transazioni, offrendo una maggiore trasparenza e visibilità.

In alcuni casi, la blockchain può essere utilizzata per ridurre i costi complessivi delle transazioni. I costi delle transazioni possono essere significativi e possono fare la differenza nel momento in cui i consumatori decidono se accettare o meno una determinata forma di pagamento. La blockchain consente di eliminare la necessità di intermediari, riducendo così il costo delle transazioni e rendendo i pagamenti digitali più convenienti per i consumatori. L'implementazione della blockchain nel settore dei pagamenti digitali richiede un'analisi accurata dei problemi che devono essere affrontati. Gli operatori di pagamenti digitali devono lavorare insieme per garantire che la tecnologia sia utilizzata in modo sicuro e trasparente. Inoltre, ci sono alcune sfide relative alla scalabilità e alle prestazioni che devono essere affrontate per garantire che la tecnologia sia in grado di soddisfare le esigenze del mercato. Tuttavia, la blockchain

offre molte opportunità per il settore dei pagamenti digitali e nel tempo diventerà sempre più importante per le transazioni digitali.

- *Blockchain nell'agrifood*

La blockchain e il suo potenziale di rivoluzione nel settore dell'agricoltura e dell'alimentazione sono già evidenti, con numerose aziende in tutto il mondo che stanno abbracciando questa tecnologia per promuovere e garantire la tracciabilità, la sicurezza alimentare e la trasparenza dei prodotti. La blockchain è una soluzione decentralizzata al problema della gestione delle informazioni, che consente una condivisione trasparente e sicura dei dati tra tutte le parti coinvolte nella filiera di produzione. La tracciabilità è un elemento sempre più importante nella catena alimentare, con i consumatori sempre più attenti alla provenienza dei prodotti che acquistano. La blockchain può aiutare le aziende agrifood a tracciare la catena di approvvigionamento, permettendo ai consumatori di conoscere la provenienza del cibo, gli ingredienti usati, la data e il luogo di produzione e ogni altro dettaglio che possa assicurare sui criteri di sicurezza di un prodotto. Alcune delle maggiori aziende del settore stanno già adottando la tecnologia blockchain nella gestione della tracciabilità, ad esempio Walmart, che ha infatti sviluppato un proprio sistema blockchain per tracciare i prodotti alimentari dallo scaffale al produttore.

L'utilizzo della blockchain serve ad aumentare l'efficienza e la trasparenza della filiera alimentare, dal produttore al consumatore finale. La blockchain permette infatti di condividere informazioni in modo trasparente dalle materie prime al prodotto finito, così come informazioni sugli ingredienti, le condizioni di produzione, i certificati di qualità e le informazioni nutrizionali. Utilizzando la blockchain, queste informazioni possono essere facilmente verificabili non solo dai singoli consumatori ma anche dalle autorità competenti, garantendo la qualità e l'origine del prodotto alimentare in tutto il suo percorso, dalla produzione all'approvvigionamento e alla vendita. La blockchain

comporta grandi benefici anche nella gestione delle merci in transito. Tutti i singoli container che trasportano prodotti alimentari possono essere monitorati in tempo reale. L'utilizzo della blockchain per tracciare la logistica degli alimenti può garantire che i consumatori finali siano certi della qualità dei prodotti che acquistano, non solo in termini di tracciabilità ma anche di tempi di conservazione del prodotto. Ma non solo, la blockchain può anche aiutare a prevenire frodi e falsificazioni, gestendo correttamente la filiera produttiva e garantendo che le informazioni sui prodotti alimentari siano accurate. Questo è particolarmente importante anche alla luce delle recenti polemiche sull'indicazione dei valori nutrizionali e sulla provenienza dei prodotti.

Grazie alla blockchain, le informazioni sulle materie prime, sui processi produttivi e sulla qualità del prodotto diventano immutabili e facilmente verificabili, proteggendo i consumatori e aumentando la fiducia nel marchio e nella qualità del prodotto. La blockchain può anche rendere le catene di approvvigionamento più efficienti, riducendo il tempo che impiega un prodotto ad arrivare sui mercati e mantenendo alta la qualità del prodotto. Utilizzando la tecnologia blockchain, gli operatori della filiera possono aumentare l'efficienza dell'intera catena di distribuzione, riducendo i tempi di approvvigionamento e garantendo prodotti di alta qualità. L'utilizzo della blockchain nella catena di approvvigionamento alimentare può quindi avere un impatto significativo sulla sostenibilità e l'impatto ambientale. L'utilizzo della tecnologia blockchain può infatti aiutare a ridurre gli sprechi, migliorare l'efficienza dei processi produttivi e ridurre l'utilizzo di risorse naturali come il suolo, l'acqua e l'energia elettrica.

La blockchain è una tecnologia che ha dimostrato di avere grandi potenziali e che può contribuire in modo significativo a migliorare la trasparenza, la tracciabilità e la sicurezza della catena alimentare. Questa tecnologia può essere adottata da aziende di ogni dimensione, e aiuta a gestire la filiera in modo efficace, efficiente e condiviso.

La blockchain fornisce alle aziende un mezzo sicuro e trasparente per condividere informazioni e dati lungo tutta la catena di approvvigionamento, garantendo così che ogni prodotto alimentare sia di alta qualità e produzione sostenibile. Grazie alla blockchain, i consumatori finali possono verificare le informazioni sulla provenienza dei prodotti alimentari che acquistano, e avere la certezza che questi sono di elevata qualità, sicuri e sostenibili. La blockchain rappresenta quindi una grande opportunità per il settore agricolo e alimentare, che può trarre benefici importanti dalla sua adozione e dal suo utilizzo a ogni livello della catena di produzione.

- *Blockchain nella sanità*

La blockchain è una tecnologia innovativa che può fare una grande differenza nella gestione dei dati medici dei pazienti. Sebbene il settore della sanità abbia raggiunto un alto grado di innovazione, migliorando la struttura organizzativa degli ospedali e creando soluzioni diagnosticate sempre più sofisticate, la gestione dei dati è ancora un punto critico. L'utilizzo dei dati medici dei pazienti in modo sicuro, protetto e scalabile è un obiettivo importante per il settore sanitario e la blockchain può rappresentare una soluzione efficace. Grazie ad un sistema di condivisione basato sulla tecnologia blockchain i medici possono accedere alle cartelle cliniche complete dei pazienti con dati accurati e facilmente accessibili. In questo modo, la diagnosi diventa più rapida, precisa ed efficace, aiutando il paziente ad avviare il trattamento in modo tempestivo, riducendo il rischio per la sua salute e migliorando la sua qualità di vita.

La blockchain può contribuire in modo significativo al cambiamento del modo di pensare sulla gestione dei dati sanitari. Potrebbe permettere al settore sanitario di creare un'organizzazione in cui il paziente ha un ruolo centrale nell'elaborazione e nella gestione delle informazioni mediche. Con l'utilizzo della blockchain, si potrebbe realizzare un coordinamento intelligente di tutte le azioni mediche che interessano il

paziente, migliorare l'efficacia e la velocità delle diagnosi e delle cure e ridurre il rischio di errori medici. Considerando che i servizi sanitari sono erogati da più strutture, le storie digitali dei pazienti possono differire notevolmente, rendendo difficile l'interoperabilità tra queste ultime. Tuttavia, l'utilizzo della blockchain potrebbe semplificare le operazioni di coordinamento e consentire un flusso di informazioni più fluido, integrando anche fonti di informazioni frammentate. L'utilizzo della blockchain può anche semplificare la gestione documentale sicura, decentralizzata ed immutabile. La gestione dei dati medici richiede una soluzione che sia sicura e affidabile. In questo senso, la blockchain rappresenta un'opzione interessante in quanto assicura una maggiore sicurezza dei dati, grazie alla crittografia, e aumenta la scalabilità e l'elasticità, sviluppando nuove modalità di autenticazione, monitoraggio e controllo. Inoltre, la blockchain può rappresentare una risposta alle nuove normative sulla privacy dei dati. I sistemi sanitari interregionali, le strutture della sanità privata e le assicurazioni possono gestire in modo semplice ed efficiente la presenza e l'interazione tra le diverse aree.

La blockchain contribuirà anche all'efficienza delle procedure di auditing, aiutando a garantire sicurezza e riducendo il rischio di attacchi informatici. Gli Smart Contract possono velocizzare le procedure di controllo e rendere più efficienti i meccanismi operativi delle strutture ospedaliere, con benefici concreti in termini di gestione documentale sicura. Infine, la gestione documentale sicura e decentralizzata può aiutare le diverse fonti di informazioni a comunicare tra di loro in modo più rapido, riducendo i tempi di accesso ai dati e garantendo la tempestività delle diagnosi e delle cure. La blockchain può contribuire in modo sostanziale al miglioramento del servizio sanitario a disposizione dei pazienti. L'integrazione della blockchain nella gestione dei dati medici rappresenta una soluzione innovativa e sicura per garantire un servizio di qualità e una maggiore efficienza delle procedure mediche. Le potenzialità legate

all'utilizzo della blockchain sono notevoli e possono contribuire alla creazione di un sistema sanitario sempre più efficace e basato sui bisogni dei pazienti.

- *Blockchain nella gestione del copyright*

La gestione del copyright è uno dei temi più dibattuti e complessi nel mercato discografico e musicale. Si parla di un mercato che ha subito numerose trasformazioni, soprattutto grazie alla diffusione del digitale. Infatti, l'avvento delle nuove tecnologie ha rivoluzionato completamente il modo in cui si ascolta la musica, ha cambiato gli approcci alla produzione musicale, ha modificato i rapporti tra gli artisti e gli ascoltatori ed ha creato nuove opportunità di business. Tuttavia, la rivoluzione digitale ha anche portato ad un problema cruciale, ovvero quello della remunerazione di tutti gli attori coinvolti nella catena produttiva, dalla creazione del brano alla sua diffusione. Il problema della pirateria musicale, vale a dire la condivisione illegale di file audio su internet, ha infatti creato un serio ostacolo per la corretta remunerazione copyright di autori, compositori e artisti, ed ha minato la sostenibilità economica di tutto il settore discografico. Per molti anni, sono state fatte diverse proposte per cercare di risolvere il problema della pirateria musicale, ma i risultati sono stati spesso deludenti.

Con l'avvento della blockchain e degli smart contract, alcune società e startup hanno trovato una soluzione innovativa per garantire una corretta remunerazione delle opere musicali e dei diritti d'autore. La blockchain, infatti, consente di creare un registro digitale pubblico, sicuro e immutabile, che traccia la provenienza del brano, le informazioni sul diritto d'autore, le informazioni di pagamento e altre informazioni utili. Grazie a questi dati, è possibile effettuare un pagamento automatico a tutti gli attori della filiera, come autori, musicisti, produttori, editori, arrangiatori, e così via.

Inoltre, gli smart contract possono essere utilizzati per automatizzare la gestione dei diritti d'autore e dei pagamenti. Gli smart contract sono, infatti, dei protocolli informatici che consentono di definire in anticipo, in modo trasparente e irrevocabile, le condizioni di pagamento tra le parti coinvolte. In questo modo, è possibile garantire che ogni volta che un brano viene suonato o riprodotto, gli artisti e gli autori ricevano una remunerazione equa.

Tuttavia, nonostante queste innovazioni tecnologiche, la questione della remunerazione resta un problema. La gestione del copyright richiede ancora una maggiore consapevolezza da parte degli utenti, poiché solo attraverso l'acquisto legale di un brano o il pagamento di un abbonamento a servizi di streaming musicale è possibile garantire una giusta remunerazione a tutti gli attori della filiera. La sfida per il futuro del mercato musicale sarà quindi quella di trovare un equilibrio tra la tutela dei diritti d'autore e l'accesso alla musica. Ci sono ancora molte sfide da affrontare, come la creazione di un sistema di gestione dei diritti d'autore a livello internazionale, la definizione di standard tecnologici per garantire l'interoperabilità tra i vari sistemi di gestione dei diritti, e così via. Ma grazie alla tecnologia blockchain e agli smart contract, si possono certamente intravedere nuove opportunità per migliorare la gestione dei diritti d'autore e garantire una corretta remunerazione per tutti gli attori della filiera musicale.

CAPITOLO 3

IL SETTORE MANIFATTURIERO

INTRODUZIONE

Il settore manifatturiero rappresenta ancora un elemento cruciale delle economie avanzate e dematerializzate, quali sono quelle esistenti ai giorni nostri, in quanto molte idee innovative nascono dalla soluzione di problemi produttivi di beni tangibili che poi incorporano servizi. Il settore manifatturiero può essere fatto risalire a tempi antichi, quando gli artigiani producevano a mano oggetti di uso quotidiano come utensili, abbigliamento e mobili. Tuttavia, è stato durante la Rivoluzione Industriale, alla fine del XVIII secolo, che il settore manifatturiero ha conosciuto una trasformazione senza precedenti. L'introduzione di macchine e di nuove tecnologie ha permesso di aumentare la produzione e di ridurre i tempi di lavorazione, aprendo la strada alla produzione di massa. Nel corso del tempo, il settore manifatturiero ha continuato ad evolversi, abbracciando sempre più le innovazioni tecnologiche. Dalla linea di montaggio di Henry Ford nell'inizio del XX secolo, all'automazione e alla robotica degli anni '70 e '80, fino alle moderne tecnologie digitali ed all'intelligenza artificiale, il settore manifatturiero è stato costantemente spinto avanti dall'innovazione tecnologica.

La tecnologia è diventata una forza trainante nella trasformazione del settore manifatturiero, consentendo l'automazione dei processi, l'ottimizzazione delle risorse e il miglioramento della produttività (Du, Fan, 2019). L'automazione e l'introduzione di macchine avanzate hanno permesso di aumentare la produzione e di ridurre i costi. Ad esempio, la sostituzione della produzione manuale con macchine a controllo numerico ha reso possibile la produzione di componenti complessi con una maggiore precisione e una minore probabilità di errore. L'integrazione delle tecnologie digitali e l'analisi dei dati hanno permesso alle aziende manifatturiere di ottenere una visione più approfondita delle proprie operazioni, facilitando

la presa di decisioni basate su dati e l'ottimizzazione dei processi (Berman & Lee, 2019). Questa capacità di analisi avanzata aiuta le aziende a identificare inefficienze, prevedere guasti delle macchine ed ottimizzare l'utilizzo delle risorse. La tecnologia ha anche migliorato la flessibilità e la personalizzazione nella produzione manifatturiera. Grazie alla digitalizzazione dei processi produttivi, le aziende possono facilmente adattare la produzione alle richieste del mercato e personalizzare i prodotti per i singoli clienti. La blockchain svolge un ruolo fondamentale nel miglioramento della tracciabilità e della gestione della supply chain. Essa consente di creare un registro immutabile delle transazioni e delle attività legate alla produzione, permettendo una maggiore trasparenza e fiducia lungo l'intera catena di approvvigionamento. Queste nuove tecnologie hanno anche contribuito a rendere il settore manifatturiero più sostenibile. L'adozione di pratiche e tecnologie a basso impatto ambientale consente alle aziende di ridurre l'utilizzo di risorse naturali, minimizzare gli sprechi e limitare l'impatto ambientale delle loro attività. Ad esempio, l'introduzione di sistemi di gestione energetica avanzati e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile hanno permesso di ridurre le emissioni di gas serra e promuovere una produzione più sostenibile.

La tecnologia ha svolto un ruolo fondamentale nell'evoluzione del settore manifatturiero nel corso dei secoli. Dalla prima Rivoluzione Industriale ad oggi, l'adozione di nuove tecnologie ha permesso di migliorare l'efficienza, la qualità, la flessibilità e la sostenibilità nella produzione manifatturiera. L'automazione, l'intelligenza artificiale, la blockchain, l'analisi dei dati e altre tecnologie avanzate stanno rivoluzionando il modo in cui le aziende producono beni e interagiscono con i clienti. Tuttavia, per capitalizzare appieno i benefici della tecnologia, è necessario che le aziende siano pronte ad adattarsi e ad investire nelle giuste soluzioni tecnologiche. La collaborazione tra imprese, accademici e governi è essenziale per promuovere l'innovazione e l'adozione di tecnologie avanzate nel settore manifatturiero.

3.1 IL POTENZIALE TRASFORMATIVO DELLA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN NEL SETTORE MANIFATTURIERO

La tecnologia blockchain ha il potenziale di trasformare il settore manifatturiero in molti modi, offrendo una maggiore trasparenza, tracciabilità ed efficienza nelle operazioni commerciali. La blockchain è una tecnologia distribuita che consente la registrazione, la condivisione e la verifica sicura delle transazioni in modo decentralizzato.

Una delle principali applicazioni della blockchain nel settore manifatturiero riguarda la gestione della supply chain. La supply chain è una rete complessa che coinvolge molti attori, come fornitori, produttori, distributori e rivenditori.

Le aziende si basano sull'efficienza delle loro catene di approvvigionamento per soddisfare le mutevoli richieste dei clienti. Il successo di un'azienda dipende dalla buona interazione dei vari componenti della sua catena di approvvigionamento a livello globale. Una catena di approvvigionamento comprende diversi flussi, come il movimento di materiali, informazioni, risorse, e capitali, e non si limita solo alla logistica. Una catena di approvvigionamento gestisce e monitora tutti questi flussi all'interno della rete (Eljazzar et al., 2018).

Negli ultimi anni, i progressi nel settore delle tecnologie dell'informazione hanno enfatizzato lo scambio di dati elettronici su Internet tra i vari partner commerciali di una catena di fornitura. Tuttavia, sono state osservate alcune carenze anche in alcune grandi organizzazioni per quanto riguarda la conoscenza e la progettazione di piattaforme informative complete che si integrano con le loro catene di approvvigionamento. Per soddisfare questa esigenza, tali organizzazioni collaborano con agenzie esterne per accelerare l'implementazione di una catena di fornitura digitale (DSC).

I dati della produzione di miliardi di prodotti, insieme alla loro vendita e distribuzione, vengono catturati ed immagazzinati, il che aiuta a gestire la complessità ereditata dall'attuale catena di approvvigionamento. Una catena di fornitura digitale utilizza terze parti fidate per

il processo e l'integrazione dei dati. Tuttavia, gli esperti mettono in discussione l'uso di interventi di terze parti e promuovono l'uso della tecnologia blockchain (Korpela, 2017). La blockchain è una tecnologia di registro distribuito che ha rivoluzionato la condivisione dei dati tra tutti gli attori rilevanti, compresi i partner globali. Essa crea un blocco o una pila di informazioni in una struttura dati predefinita che consente di archiviare ogni transazione digitale con un timestamp. Ciò permette la codifica e la pubblicazione delle informazioni solo agli stakeholder autorizzati (Lummus, 2001). L'implementazione della blockchain offre il vantaggio di memorizzare le informazioni in blocchi con tutte le informazioni rilevanti sulla transazione senza rivelare l'identità delle parti coinvolte. Le catene di approvvigionamento costituiscono l'elemento centrale di numerosi settori e svolgono un ruolo cruciale nella sostenibilità delle organizzazioni. Le dinamiche del mercato sono in costante mutamento, il che può portare a una maggiore instabilità per le imprese. L'efficienza di una catena di approvvigionamento dipende dalla disponibilità di dati completi. Questi dati comprendono informazioni sui clienti in ogni interazione, nonché dati sulle prestazioni della catena di approvvigionamento stessa. Tali informazioni aiutano nell'analisi delle discrepanze e nella definizione di strategie per allineare le esigenze del mercato.

Gli ultimi decenni dopo la nascita di Industry 4.0 hanno registrato una crescita esponenziale nell'implementazione delle tecnologie digitali. L'automazione dei dati dei clienti acquisiti a ogni interazione è diventata una fonte di informazioni fondamentale per le organizzazioni.

L'Internet of Things (IoT) e gli ecosistemi connessi hanno registrato una notevole espansione, consentendo l'acquisizione di dati fondamentali. Un elemento di fondamentale importanza che ha trasformato le catene di approvvigionamento è stata la blockchain, una tecnologia che si basa sui principi dei registri distribuiti. L'implementazione della tecnologia blockchain offre vantaggi significativi, come la sicurezza dei dati, la tracciabilità e la condivisione trasparente delle informazioni tra i partecipanti alla catena di approvvigionamento. L'implementazione efficace di catene di fornitura digitali basate su blockchain, consente alle organizzazioni di massimizzare i benefici derivanti da questa tecnologia innovativa. La Blockchain è,

fondamentalmente, un database distribuito di registri pubblici o privati costituito da record transazionali archiviati come blocchi crittografati nella catena. Questi blocchi sono principalmente eventi digitali condivisi con le parti interessate rilevanti della blockchain (Crosby et al. 2016). I record possono essere facilmente rintracciati. Quattro tratti distintivi differenziano la blockchain da altre tecnologie. Questi sono la decentralizzazione, la sicurezza delle informazioni grazie alla crittografia, la tracciabilità e l'esecuzione effettiva (Baker e Steiner 2015).

Ricercatori e dirigenti di varie industrie stanno attuando numerosi progetti relativi alla blockchain ed ai registri distribuiti. La blockchain si sta dimostrando una tecnologia rivoluzionaria che trova applicazione in tutti i processi aziendali, anche se inizialmente ha guadagnato importanza solo nel settore finanziario.

Un altro ambito in cui si riconosce il potenziale della blockchain è la gestione della catena di approvvigionamento. Le tecnologie digitali, come l'Internet of Things (IoT), stanno dominando le catene di approvvigionamento. Attraverso l'utilizzo di sensori, tecnologie di identificazione come RFID, codici a barre, tag GPS e altre, è possibile individuare le posizioni e i movimenti dei prodotti. Questo consente il monitoraggio in tempo reale delle singole parti. Tuttavia, nell'implementazione dell'IoT, è stato riscontrato un problema legato all'identità confermata. Le organizzazioni desiderano ottenere informazioni attendibili sull'identità dei prodotti.

In un ecosistema IoT, ogni sensore genera dati che vengono trasmessi tramite una notifica di oggetto JavaScript (JSON) utilizzando un'interfaccia di programmazione delle applicazioni (API) basata sulla blockchain. I dati vengono aggregati e crittografati prima di essere comunicati alla rete attraverso il punto di ingresso dell'infrastruttura blockchain. L'intera rete blockchain viene quindi aggiornata con questi dati, diventando la fonte affidabile di verità che può essere verificata da qualsiasi utente. I sistemi IoT si caratterizzano per l'anonimato dei dati, ma vengono costruiti sull'infrastruttura della blockchain, che fornisce trasparenza e

affidabilità. Tuttavia, determinare l'origine dei dati o eseguire un audit può risultare un compito complesso. Pertanto, l'uso della blockchain permette di superare queste sfide e di garantire la tracciabilità e la verifica dei dati. L'integrazione della blockchain nelle catene di approvvigionamento e negli ecosistemi IoT offre numerosi vantaggi, tra cui la sicurezza dei dati, la tracciabilità accurata dei prodotti e la condivisione trasparente delle informazioni. Questi sviluppi promettenti stanno aprendo nuove opportunità per migliorare l'efficienza e la gestione delle catene di approvvigionamento in diversi settori industriali (Jayabalasamy, Koppu, 2021).

L'implementazione della blockchain offre all'organizzazione un vantaggio significativo nel risolvere il problema dell'identità. Essa fornisce all'organizzazione informazioni sulle azioni svolte dagli attori della catena di approvvigionamento, inclusi il momento e il luogo in cui tali azioni avvengono. Quando viene utilizzata nella catena di approvvigionamento, la blockchain permette di misurare i principali indicatori di performance delle diverse entità coinvolte, anche a livello globale. In particolare, è importante menzionare i dati di tracciamento che, una volta inseriti, registrano tutte le transazioni e permettono di informare tempestivamente tutti i soggetti interessati. Questo modello di condivisione dei dati contribuisce a creare fiducia in una catena di approvvigionamento completa, coinvolgendo sia i clienti che i fornitori, superando i confini organizzativi. Le catene di approvvigionamento sono complesse e la blockchain aiuta a monitorare e valutare la qualità delle prestazioni durante il transito delle merci (Kshetri, 2018).

Un'altra applicazione unica della blockchain sono gli smart contract. Utilizzando la blockchain, è possibile catturare dati in tempo reale insieme all'identità e aiutare a monitorare gli elementi contrattuali. I contratti intelligenti stanno suscitando sempre più interesse da parte dei ricercatori e degli imprenditori grazie alla loro facilità d'uso (Szabo, 1997). La blockchain trova un ruolo fondamentale nei moderni processi aziendali e nella gestione della catena di approvvigionamento. Negli ultimi decenni, abbiamo assistito a un notevole cambiamento nel comportamento dei mercati rispetto a quanto accadeva qualche tempo fa. Il comportamento

dei clienti è in continua evoluzione con l'ingresso di attori globali. Le richieste dei clienti sono estremamente volatili, il che ha portato la gestione aziendale ad entrare in una nuova era di competizione in cui la creazione di una rete di relazioni commerciali gioca un ruolo cruciale. In un ambiente complesso, il successo di un'azienda dipenderà dalla sua capacità di integrare e creare una rete di relazioni commerciali (Drucker, Bowersox, 1997).

La gestione fondamentale di queste relazioni è chiamata Gestione della Catena di Approvvigionamento (Supply Chain Management - SCM). Essa offre alle organizzazioni l'opportunità di sfruttare sinergie, anche con attori globali. La SCM incorpora l'eccellenza totale dell'azienda e aggiunge una capacità per gestire l'attività aziendale e le relazioni con gli altri stakeholder della catena di approvvigionamento in un modo nuovo. Nell'era moderna, le aziende non competono sul mercato in modo isolato come un marchio contro un altro marchio o un negozio contro un altro negozio, ma competono come una catena di approvvigionamento contro un'altra catena di approvvigionamento. Ci sono otto elementi che costituiscono la Gestione della Catena di Approvvigionamento: Gestione delle Relazioni con i Clienti, Gestione del Servizio Clienti, Gestione della Domanda, Gestione degli Ordini, Gestione del Flusso di Produzione, Gestione degli Acquisti o delle Relazioni con i Fornitori, Sviluppo e Commercializzazione di Nuovi Prodotti ed, infine, Gestione dei Resi (Lambert e Cooper, 2000).

Per garantire un'efficienza organizzativa, è fondamentale che queste componenti funzionino in modo sinergico e interagiscano tra loro. La gestione della catena di approvvigionamento comprende la pianificazione e il coordinamento necessari per il movimento di un prodotto dal fornitore al cliente attraverso una rete interconnessa. In passato, queste connessioni nella catena di approvvigionamento venivano gestite fisicamente, cercando di mantenere un equilibrio tra la domanda del cliente e le forniture. Tuttavia, con l'espansione delle attività aziendali, l'aumento del numero di clienti, la diversità delle posizioni geografiche e le operazioni globali, diventava impossibile gestire manualmente tali attività (Büyükköçkan e Göçer, 2018). Le organizzazioni sono state costrette a lavorare su tecnologie di integrazione

e reti interconnesse che comunicavano con ciascun elemento e creavano un modello di comunicazione dati. Le organizzazioni hanno bisogno di un'integrazione senza soluzione di continuità e di una condivisione dei dati tra gli elementi in modo che essi funzionino in modo autonomo e siano allineati con l'obiettivo comune delle organizzazioni di soddisfare al meglio la domanda del cliente (Fiala, 2005). Questo è diventato possibile grazie all'intervento della tecnologia dell'informazione e della digitalizzazione, che hanno coinvolto quasi tutti gli aspetti delle catene di approvvigionamento (Büyükoçkan, Göçer, 2018). L'obiettivo principale di una catena di approvvigionamento è garantire che siano intrapresi tutti i passaggi necessari per soddisfare le esigenze dei clienti. Questi passaggi sono garantiti seguendo il modello di riferimento per le operazioni della catena di approvvigionamento (SCOR) (Huan, 2004). Ciò aiuta a comunicare una decisione sulla catena di approvvigionamento in tutta l'organizzazione e, esternamente, ai fornitori ed ai clienti. Le organizzazioni devono concentrarsi sulla riduzione dei costi e sull'ottimizzazione dei processi di produzione.

Per raggiungere questi obiettivi le organizzazioni devono gestire in modo critico la propria catena di approvvigionamento. I processi aziendali contemporanei sono complessi, con domande dei clienti volatili e grandi requisiti di risorse. È necessario rompere i "silos" che esistono tra i diversi elementi e funzioni per raggiungere l'integrazione di tutti gli elementi diversi. Le Catene di Approvvigionamento Digitali consentono questa integrazione, collegando in modo unico tutte le sfaccettature e rompendo i silos nelle operazioni (Büyükoçkan, Göçer, 2018). Le Catene di Approvvigionamento Digitali sono abilitate attraverso il web con processi aziendali abilitati dalle tecnologie dell'informazione. Le capacità intrinseche di una Catena di Approvvigionamento Digitale includono l'utilizzo di tecnologie in grado di generare dati relativi a diverse transazioni con l'aiuto di dispositivi intelligenti. Questi dispositivi intelligenti sono sensori che vengono collocati in posizioni appropriate per acquisire i dati sul cambiamento di stato che si verifica. Questi dati vengono quindi trasmessi su Internet e raccolti in un deposito centrale. La tecnologia che supporta questo framework completo e facilita la raccolta dei dati è definita Internet Of Things (Lou,

2011). Una Catena di Approvvigionamento Digitale è fondamentalmente una piattaforma per la raccolta e l'utilizzo di dati in tempo reale per prendere decisioni agili in diversi processi. Alla luce della varietà di prodotti, dei cicli di vita dei prodotti ridotti, della variabilità della domanda e della competizione globale, è estremamente importante che i dati sulla domanda vengano trasmessi lungo una catena di approvvigionamento nel modo più rapido possibile (Ambe, Lee,1997). Attualmente, internet rappresenta il mezzo più veloce disponibile per il trasferimento dei dati. Tecnologie digitali come l'Internet Of Things vengono implementate per trasmettere i dati sulla domanda raccolti lungo una catena di approvvigionamento fino a quando i fornitori soddisfano tale bisogno (Atzori,2010). Le dimensioni delle catene di approvvigionamento stanno aumentando giorno dopo giorno con la crescente complessità. C'è un bisogno amplificato di tracciamento e coordinamento. Le Catene di Approvvigionamento Digitali offrono una maggiore flessibilità ed un'efficienza aumentata. Nel contesto digitale e nella gestione della catena di approvvigionamento, si verificano continue pressioni dovute alla presenza di attori globali, che promuovono una collaborazione sempre più stretta tra le due aree.

Ci sono diversi benefici impliciti nell'adozione di una catena di approvvigionamento digitale su tecnologia blockchain, tra cui:

- Velocità: La velocità è un elemento fondamentale di una catena di approvvigionamento digitale. L'accesso alle informazioni sulle scorte disponibili è cruciale per consentire una consegna rapida. Riducendo i tempi di consegna, un'organizzazione può rispondere prontamente alla domanda dei clienti.
- Flessibilità: I mercati sono in continua evoluzione e le organizzazioni devono dimostrare agilità per soddisfare le richieste dei clienti. Le catene di approvvigionamento digitali si concentrano sulla risoluzione dei problemi e sull'eliminazione degli ostacoli che impediscono la consegna dei prodotti. Ciò consente

un'operatività flessibile per adattarsi ai mutevoli scenari di mercato.

- **Imprese globali:** Grazie alla diffusione di internet negli ultimi anni, le imprese hanno la possibilità di condurre affari a livello globale. La globalizzazione ha aperto nuove opportunità per gli attori globali, consentendo loro di operare in tutto il mondo, mentre i produttori locali possono espandersi a livello internazionale. Le catene di approvvigionamento digitali si estendono su scala globale, consentendo ai venditori di reagire in modo tempestivo a livello locale.
- **Inventario in tempo reale:** La gestione dell'inventario viene potenziata dall'utilizzo di dati in tempo reale. Ciò garantisce che i livelli di inventario siano sempre ottimali. Grazie all'uso di sensori nella catena di approvvigionamento digitale, i livelli di stock vengono monitorati in modo continuo. Poiché i comportamenti dei consumatori stanno cambiando rapidamente e le organizzazioni non possono mantenere l'inventario in ogni sede e per ogni tipo di prodotto, i dati in tempo reale consentono decisioni rapide e informate. Inoltre, i dati in tempo reale permettono ai sistemi di anticipare e prevedere i problemi prima che si verifichino.
- **Visibilità:** Una catena di approvvigionamento digitale offre una maggiore visibilità degli ordini attraverso la trasparenza del flusso di dati a tutte le parti interessate. Ciò consente agli attori della catena di approvvigionamento di prepararsi per eventuali interruzioni nella domanda e di adattare la rete di conseguenza.
- **Ottimizzazione dei costi:** L'ottimizzazione dei costi è un obiettivo centrale nell'era digitale. Sebbene gli investimenti in infrastrutture possano comportare costi iniziali elevati, nel tempo si può osservare una riduzione dei costi di gestione. L'utilizzo efficiente della tecnologia digitale all'interno di una catena di approvvigionamento

porta a rendimenti più elevati e ad un'efficienza complessiva della catena stessa.

- Scalabilità: Le catene di approvvigionamento digitali consentono una rapida scalabilità verso l'alto o verso il basso. Le informazioni in tempo reale fluiscono direttamente dal mercato al fornitore. Ciò riduce ulteriormente le attività che non aggiungono valore in una catena e consente una facile scalabilità. L'utilizzo efficace delle tecnologie digitali in una catena di approvvigionamento riduce anche i problemi ambientali che emergono dalla catena di approvvigionamento (Bechtold, 2014).

Le sfide legate alla gestione della catena di approvvigionamento includono:

- Complessità: Nell'era attuale, la gestione della catena di approvvigionamento si è trasformata in un processo complesso, con pianificazione a più livelli e competizione in diverse aree geografiche per soddisfare una vasta gamma di clienti.
- Mitigazione dei rischi: Le reti di approvvigionamento devono affrontare sfide legate alla globalizzazione, alle politiche governative, alle differenze culturali e ai cambiamenti nei comportamenti dei clienti. È necessario mitigare i rischi associati a tali fattori.
- Inefficienza e mancanza di fiducia: Una catena di approvvigionamento inefficiente può essere afflitta da problemi come furti e frodi, creando sfiducia tra le parti coinvolte. La mancanza di condivisione delle informazioni e la scarsa trasparenza possono portare ad accumuli eccessivi di inventario, rendendo difficile la tracciabilità dei prodotti.
- Cattura della domanda: L'acquisizione accurata della domanda è una sfida significativa che può causare costi elevati per le catene di approvvigionamento. Errori nell'acquisizione della domanda, come "l'effetto frusta", possono portare a problemi di sovrapproduzione e limitazioni di flusso di cassa.
- Standardizzazione e automazione: Il successo di un prodotto dipende dalla standardizzazione dei processi e dal raggiungimento dell'automazione. L'isolamento

dei processi in silos può causare ritardi nella consegna delle innovazioni e dei nuovi modelli di business.

La catena di approvvigionamento digitale basata su Blockchain offre numerosi vantaggi per migliorare l'efficienza, la sicurezza e la trasparenza dell'intero processo. La tecnologia Blockchain svolge un ruolo essenziale nella registrazione e nella convalida dei dati, garantendo la loro integrità e autenticità. L'integrazione dell'Internet of Things (IoT) e dei contratti intelligenti nella tecnologia Blockchain è fondamentale per gestire in modo efficace la catena di approvvigionamento (Supply Chain Management, SCM) (Chang, 2022).

La Blockchain presenta cinque funzionalità principali che supportano un SCM sostenibile: visibilità, aggregazione, convalida, automazione e resilienza. Queste caratteristiche consentono alle organizzazioni di navigare attraverso la complessità e la volatilità dell'ambiente di approvvigionamento attuale. Per ottenere i massimi benefici dalla Blockchain, è necessario un utilizzo avanzato di contratti intelligenti e registri distribuiti, in modo che ogni nodo contenga i dati richiesti (Chang, 2022).

La tecnologia blockchain diventa più efficace ed efficiente attraverso l'integrazione con l'Internet of Things, la registrazione di ogni transazione, la standardizzazione dei dati, l'implementazione di analisi avanzate.

L'implementazione di una catena di approvvigionamento digitale basata su Blockchain offre trasparenza e accessibilità dei dati. I record archiviati nei registri distribuiti sono immutabili e soggetti a una governance specifica. Ciò significa che i dati nella Blockchain rappresentano la fonte della verità per tutti i sistemi associati, offrendo un alto livello di fiducia nelle informazioni (Krithika, 2022). La Blockchain ha iniziato come una tecnologia principalmente utilizzata nel settore finanziario, ma negli ultimi anni gli studiosi e gli accademici hanno sottolineato le sue applicazioni in altri settori, compreso il Supply Chain Management. La

Blockchain offre vantaggi all'avanguardia, come velocità, sicurezza, tracciabilità, immutabilità, trasparenza e accessibilità dei dati (Chiacchio, 2022). Uno dei settori in cui la Blockchain ha un impatto significativo è proprio il Supply Chain Management, grazie alle tecnologie digitali (Gatteschi, 2018). La Blockchain affronta sfide comuni nel campo della catena di approvvigionamento, come la visibilità, la condivisione delle informazioni e la fiducia tra gli attori coinvolti. La sua infrastruttura decentralizzata e distribuita consente alle organizzazioni di superare tali sfide e di creare un quadro completo della catena di approvvigionamento (Weber, 2016). La trasparenza è un elemento chiave per migliorare la fiducia tra le parti interessate, definendo l'estensione in cui tutti gli attori della catena di approvvigionamento possono accedere alle informazioni nella Blockchain senza ritardi o distorsioni. La tracciabilità dei prodotti lungo la catena di approvvigionamento è un altro aspetto cruciale abilitato dalla Blockchain. La tracciabilità contribuisce alla trasparenza del sistema, consentendo un monitoraggio accurato dell'origine e del percorso dei prodotti.

La Blockchain apporta miglioramenti significativi anche in termini di sicurezza delle transazioni. Grazie alla crittografia avanzata, le transazioni sulla Blockchain sono protette da manipolazioni e frodi. Inoltre, l'approccio decentralizzato e distribuito della Blockchain garantisce che tutte le parti coinvolte ottengano una copia dei dati, eliminando la necessità di un'autorità centrale per la gestione e la convalida delle transazioni. Un aspetto cruciale della Blockchain è la sua capacità di supportare l'automazione delle transazioni attraverso l'uso di contratti intelligenti. I contratti intelligenti sono protocolli digitali che eseguono e applicano automaticamente i termini e le condizioni concordate tra le parti coinvolte in una transazione. Questo riduce la dipendenza dagli intermediari di terze parti e semplifica il monitoraggio e l'esecuzione delle transazioni, sia a livello singolo che globale (Xu, 2016).

Pertanto, si osserva che la blockchain fornisce sicurezza e flessibilità ad un costo inferiore. La blockchain migliora l'efficienza delle catene di approvvigionamento con una maggiore sicurezza e flessibilità delle informazioni a un costo molto inferiore poiché gli intermediari di

terze parti vengono eliminati. Sulla base della comprensione di cui sopra, i seguenti sono i vantaggi di una catena di fornitura digitale basata su blockchain (Eljazzar, 2018):

- Aumento della fiducia grazie alla visibilità che diversi stakeholder acquisiscono con la trasparenza dei dati nella rete della catena di fornitura.
- Per alcune transazioni, la blockchain può anche creare una struttura diversa, trasparente e decentralizzata.
- La blockchain può essere facilmente implementata nella rete globale della supply chain.
- Per il tracciamento delle risorse, la blockchain crea un sistema decentralizzato e immutabile di risorse digitali.
- La blockchain consente la creazione di servizi di valore nella rete in modo conveniente.
- La creazione, il monitoraggio e la condivisione di asset digitali sono resi possibili con la blockchain che mantiene le norme e le linee guida sulla sicurezza delle informazioni.
- La blockchain aumenta notevolmente l'accuratezza delle previsioni della domanda.

3.2 GESTIONE DELLA FILIERA AGROALIMENTARE SU BLOCKCHAIN

Con l'avanzare della divisione del lavoro nel settore agricolo e la specializzazione dei prodotti, si rende sempre più necessario un coordinamento lungo la filiera agroalimentare (Escobal, Cavero, 2012). In queste circostanze, la filiera agroalimentare forma una quasi-organizzazione a rete, le cui transazioni si spostano dai tradizionali mercati spot a più complessi accordi contrattuali e relazionali (Sykuta, James, 2004).

L'evoluzione della tecnologia ha portato all'utilizzo di tecnologie informatiche all'avanguardia, come la blockchain, l'Internet of things ed i big data, nell'informatizzazione dell'agricoltura. Queste tecnologie consentono alla filiera agroalimentare di seguire una direzione di sviluppo intelligente ed intensiva. Per superare le limitazioni informative nella gestione della filiera agroalimentare è necessario sfruttare il supporto delle nuove tecnologie dell'informazione e di conseguenza sarà possibile raggiungere una maggiore produttività. La blockchain, in quanto strumento tecnico per la collaborazione su larga scala, ha il potenziale per trasformare il flusso di informazioni, prodotti e capitali lungo la catena di approvvigionamento. Ciò avviene attraverso l'implementazione di meccanismi di governance della rete come il meccanismo della fiducia trasparente e il meccanismo del contratto intelligente.

Nella ricerca condotta si utilizzano casi studio per fornire una descrizione della gestione della filiera agroalimentare basata sulla blockchain. I dati sono stati raccolti da due casi studio sulla catena di approvvigionamento di prodotti agricoli basata sulla blockchain (Bu Bu Chicken) e sulla catena di approvvigionamento agroalimentare basata sulla blockchain (Shan Liang Taste). Entrambi i casi sono stati condotti nella Cina continentale e le due aziende selezionate per questa ricerca sono leader nel settore agricolo e della blockchain in Cina. Shan Liang Taste è una società di tecnologia agricola fondata da Zhongnan Construction, un'azienda che investe ampiamente nel campo della blockchain, e Beidahuang Group, il gruppo agricolo più

meccanizzato in Cina. Shan Liang Taste è stata spesso riconosciuta come la prima smart farm cinese basata sulla blockchain. Bu Bu Chicken è guidata da Zhong An Technology, che è una consociata interamente controllata di Zhong An Insurance fondata da Ant Financial, Tencent e Ping An China.

Di conseguenza, questi due casi sono considerati "esemplari" o "tipici" in quanto il loro successo o fallimento è rappresentativo della maggior parte dei casi oggetto di studio. Le informazioni primarie sono state raccolte attraverso il sito web ufficiale del progetto, rapporti di notizie e indagini sul campo, il che conferisce affidabilità alla ricerca del caso di studio.

- *Caso 1: Ecosistema di allevamento di pollame basato su blockchain - progetto "Bu Bu Chicken"*

Con il crescente livello di consumo tra i residenti, c'è una crescente valorizzazione del consumo di alimenti sani ed ecologici. Tuttavia, la tracciabilità dei prodotti agricoli rimane una preoccupazione comune tra i consumatori. Per affrontare questa problematica, Zhong An Technology ha introdotto il progetto di gestione della catena di approvvigionamento denominato "Bu Bu Chicken". Questo progetto ha reso possibile tracciare il percorso del pollo dalla fattoria alla tavola, sfruttando la combinazione di blockchain e Internet of things.

Il progetto "Bu Bu Chicken", durante il processo di allevamento adotta attrezzature basate sull'Internet of things (IoT) le quali consentono di raccogliere automaticamente una vasta gamma di informazioni. Queste informazioni includono la posizione dei polli, il percorso di movimento, la temperatura e l'umidità dell'ambiente di allevamento. Tali dati vengono quindi caricati in tempo reale nel database denominato "An Chain Cloud", che si basa sulla tecnologia blockchain. In questo modo, l'intero processo di produzione del "Bu Bu Chicken" viene accuratamente registrato e tracciato in modo affidabile.

Attraverso l'applicazione mobile, i consumatori hanno la possibilità di effettuare richieste di informazioni anticontraffazione per verificare la tracciabilità dei prodotti e accedere ai dati dettagliati riguardanti il pollo. Questi dati comprendono informazioni sulla sua posizione, il processo di macellazione e il trasporto. Grazie alla distribuzione, al salvataggio e alla verifica di tali dati tramite un algoritmo di consenso multipartitico, si può garantire un alto grado di credibilità delle informazioni. In questo modo, i consumatori possono ottenere una panoramica completa e affidabile sul percorso del pollo che intendono acquistare.

Nel progetto "Bu Bu Chicken", Zhong An Technology riveste un ruolo fondamentale come supporto tecnologico per l'integrazione della catena di approvvigionamento e il funzionamento del prodotto. Zhong An Technology collabora attivamente con diverse imprese del settore logistico, come SF EXPRESS, impianti di trasformazione, piattaforme di e-commerce, come JD.com, istituti di ricerca, come l'Università Agraria di Anhui, e agricoltori, per creare una produzione ed una catena di approvvigionamento basata sulla tecnologia blockchain. Attraverso le piattaforme di commercio elettronico SF Best Choice e JD.com, vengono elencati i prezzi di 200 aziende agricole provenienti da Anhui, Henan, Guizhou, Shaanxi, Gansu e Hainan. Zhong An Technology ha l'obiettivo di collaborare con altre 2.500 aziende agricole entro il 2020, coinvolgendole nell'utilizzo della tecnologia blockchain per l'allevamento dei polli. Inoltre, sfruttando i vantaggi finanziari offerti da Zhong An Insurance, Zhong An Technology fornisce servizi finanziari come assicurazioni e prestiti per agricoltori e imprese. Grazie alla piattaforma di supply chain basata sulla blockchain, i dati riguardanti i polli possono essere conosciuti in tempo reale, il che contribuisce a ridurre i costi di controllo del rischio nell'ambito delle assicurazioni. Inoltre, utilizzando i dati delle transazioni e gli asset registrati sulla blockchain, gli istituti finanziari possono condurre valutazioni del rischio per fornire prestiti agli agricoltori, rendendo così i servizi finanziari più accessibili per la comunità agricola.

- *Caso 2: Shan Liang Taste - il sistema di filiera agroalimentare con l'uso della blockchain*

Shan Liang Taste, un'azienda di tecnologia agricola, ha sviluppato una piattaforma di gestione della filiera agroalimentare integrando tecnologie come l'Internet of things (IoT), la blockchain e i big data. La digitalizzazione delle risorse agricole del Beidahuang Farm Group è stata implementata da Shan Liang Taste. La catena di approvvigionamento del grano di Beidahuang è stata suddivisa in 1.639 nodi aziendali che includono 3 fattorie, 9 distretti di gestione e 33 postazioni di lavoro sulla piattaforma basata sulla blockchain di Shan Liang Taste. Basandosi sulla gestione standardizzata, su larga scala e meccanizzata del Beidahuang Farm Group, Shan Liang Taste ha creato un sistema agricolo autonomo che combina attrezzature intelligenti e blockchain. La mietitrice, il veicolo logistico, l'essiccatoio e la stazione di elaborazione e stoccaggio utilizzano una varietà di dispositivi IoT che acquisiscono automaticamente informazioni sull'ora, le informazioni geografiche, i dati di base sulla semina e i dati di gestione. Questi dati vengono caricati direttamente nel sistema blockchain per garantire l'autenticità. Nel frattempo, i partecipanti della filiera del grano, tra cui fornitori, produttori, distributori e clienti, registrano le informazioni delle transazioni tramite il sistema blockchain, garantendo così la sicurezza delle transazioni. In queste circostanze, la filiera del grano del Beidahuang ha realizzato una mappatura completa dei dati relativi alle entità partecipanti, alla produzione, alle risorse agricole e ai sistemi commerciali sulla piattaforma di rete blockchain di Shan Liang Taste.

Shan Liang Taste ha preso iniziative significative per rivoluzionare il modo in cui viene gestita la catena di approvvigionamento del grano attraverso l'implementazione di diverse app sulla piattaforma blockchain. Un'app chiave sviluppata da Shan Liang Taste

è "Shan Liang Blockchain Food Tickets", che consente di emettere ordini di piantagione digitali negoziabili e garantiti utilizzando la tecnologia blockchain. Grazie a questa app, i clienti hanno la possibilità di prenotare terreni per una stagione di riso, generando ordini online, mentre gli agricoltori possono stipulare contratti per garantire la realizzazione di tali ordini.

Nel giugno 2018, Shan Liang Taste ha introdotto un innovativo "Shan Liang Blockchain Order" tramite WeChat, consentendo alle persone di prenotare 1 mu di terra (equivalente a 666,67 metri quadrati) al costo di \$1.150. Come parte dell'ordine, è stato stabilito che 250 kg di riso coltivato sul terreno prenotato sarebbero stati consegnati per posta dopo quattro mesi. Inoltre, è stato possibile finanziare l'ordine attraverso crowdfunding su Internet, con 10 persone che hanno beneficiato di uno sconto per la prenotazione di 1 mu di terra.

Per garantire la fiducia e la sicurezza all'interno della catena di approvvigionamento, Shan Liang Taste ha sviluppato l'app "Shan Liang Smart Contract", che permette di programmare smart contract di ordini nella catena di approvvigionamento. Questo ha risolto efficacemente le problematiche legate alla fiducia e all'esecuzione degli accordi.

Oltre a ciò, Shan Liang Taste ha introdotto l'app "Shan Liang Steward", che standardizza i servizi di produzione, inclusi l'allevamento unificato, l'approvvigionamento di materiali agricoli unificato e la pianificazione organizzativa della produzione unificata. Inoltre, in collaborazione con un istituto finanziario, l'app "Shan Liang Finance" fornisce una vasta gamma di servizi finanziari ai partner della catena di approvvigionamento, tra cui agricoltori, commercianti, società di logistica, società di stoccaggio e società di vendita. Questi servizi finanziari, basati sui dati blockchain e sulle informazioni commerciali, includono prestiti, assicurazioni agricole, pagamenti tripartiti, ritenute di pagamento e richieste di credito. Oltre ad integrare la produzione, il trasporto e il commercio all'interno della catena di approvvigionamento, Shan Liang Taste ha stretto

collaborazioni con importanti istituzioni e organizzazioni quali Kenfeng Seed, SGS, il Centro di ispezione della qualità del grano del Ministero dell'Agricoltura, Tencent e l'Accademia di bonifica agricola di Heilongjiang per garantire la qualità e ricevere supporto tecnico. In sintesi, Shan Liang Taste ha trasformato il tradizionale modello gerarchico "produzione-commercio-agente-terminale" all'interno della filiera agro alimentare. Grazie all'adozione di tecnologie avanzate, l'azienda ha aggiornato il processo industriale tradizionale e ha garantito la qualità della produzione di grano sin dalla fonte.

CONCLUSIONI

La blockchain è una tecnologia innovativa che ha destato grande interesse grazie alle sue caratteristiche di sicurezza, trasparenza e immutabilità dei dati. Tuttavia, essa rappresenta solo un elemento di un ecosistema tecnologico più ampio. La blockchain, in sé, è un registro distribuito che consente la registrazione e la verifica delle transazioni in modo sicuro e trasparente. Questo può essere applicato in vari settori, come la finanza, la gestione delle catene di approvvigionamento e la tracciabilità delle transazioni.

Tuttavia, il concetto di paradigma tecnologico si riferisce a un cambiamento fondamentale nel modo in cui le tecnologie interagiscono e trasformano un settore o un contesto più ampio. Per comprendere appieno il potenziale rivoluzionario della blockchain, è necessario considerare il suo impatto all'interno di un cluster di tecnologie dell'era 4.0.

L'era delle tecnologie 4.0 è caratterizzata dall'interconnessione di dispositivi intelligenti, dalla raccolta e analisi di grandi quantità di dati, dalla blockchain, dall'intelligenza artificiale, dalla robotica avanzata, dalla stampa 3D, dal machine learning, dal 5G network, dal cloud manufacturing e dalla realtà aumentata. Queste tecnologie lavorando sinergicamente, creano un ecosistema digitale in cui le informazioni vengono elaborate, condivise e utilizzate in modo efficiente e intelligente.

Quando la blockchain interagisce con l'Internet of Things, ad esempio, può garantire la sicurezza e l'integrità dei dati scambiati tra dispositivi connessi. L'intelligenza artificiale può beneficiare della blockchain come un meccanismo per accedere a dati verificabili e affidabili, consentendo l'apprendimento e l'adattamento automatici degli algoritmi. La robotica avanzata può utilizzare la blockchain per tracciare e convalidare le azioni dei robot, migliorando la sicurezza e la collaborazione.

Inoltre, l'analisi dei big data può trarre vantaggio dall'utilizzo della blockchain per garantire la sicurezza e l'autenticità dei dati raccolti. La combinazione di queste tecnologie con altre

come la realtà aumentata, la stampa 3D, il cloud manufacturing, il 5G network e il machine learning può aprire la strada a nuove possibilità di innovazione e trasformazione nel settore manifatturiero e oltre.

Mentre la blockchain da sola può fornire trasparenza e immutabilità dei dati, è solo quando viene combinata con altre tecnologie dell'era 4.0 che può diventare un vero e proprio nuovo paradigma tecnologico. L'interazione tra la blockchain, l'Internet of Things, l'intelligenza artificiale, la robotica, i big data e altre tecnologie emergenti offre possibilità di innovazione e trasformazione su vasta scala. Questo cluster di tecnologie lavorando insieme può creare un ecosistema digitale interconnesso, in cui la fiducia, l'efficienza e l'autonomia sono migliorati in modo significativo, portando a importanti cambiamenti sia nel settore manifatturiero che nel contesto sociale ed economico complessivo.

I casi studio di "Bu Bu Chicken" e "Shan Liang Taste" in Cina rappresentano esempi significativi dell'applicazione di queste tecnologie nella gestione della filiera agroalimentare.

Attraverso l'integrazione di blockchain e IoT, il progetto "Bu Bu Chicken" ha reso possibile la tracciabilità accurata del pollo dalla fattoria alla tavola. I consumatori possono accedere a informazioni dettagliate sul percorso del pollo attraverso un'applicazione mobile, creando fiducia e trasparenza nella catena di approvvigionamento. Inoltre, la collaborazione con diverse imprese logistiche, piattaforme di e-commerce e istituti di ricerca ha contribuito a creare una catena di approvvigionamento basata sulla tecnologia blockchain, offrendo servizi finanziari accessibili agli agricoltori e riducendo i costi di controllo del rischio nell'ambito delle assicurazioni.

Da parte sua, Shan Liang Taste ha rivoluzionato la gestione della filiera agroalimentare integrando tecnologie come IoT, blockchain e big data. La digitalizzazione delle risorse agricole e l'implementazione di app sulla piattaforma blockchain hanno permesso una mappatura completa dei dati relativi alle entità partecipanti, alla produzione e ai sistemi commerciali. Le app come "Shan Liang Blockchain Food Tickets", "Shan Liang Smart Contract"

e “Shan Liang Steward” hanno semplificato la gestione degli ordini, garantito la sicurezza delle transazioni e standardizzato i servizi di produzione. Inoltre, le collaborazioni con importanti istituzioni e organizzazioni hanno assicurato la qualità e il supporto tecnico.

L’applicazione della blockchain e di altre tecnologie innovative nella gestione della filiera agroalimentare offre vantaggi significativi in termini di tracciabilità, fiducia, efficienza e qualità del prodotto. Questi casi studio dimostrano il potenziale trasformativo di queste tecnologie nell’industria manifatturiera e sottolineano l’importanza di sfruttarle per affrontare le sfide attuali e future della filiera agroalimentare.

In sintesi, l’analisi delle tecnologie dell’era 4.0 ed i casi studio analizzati ci hanno mostrato come la blockchain se utilizzata in modo individuale non risulta essere una tecnologia capace di cambiare drasticamente il contesto sociale ed economico ma se analizzata all’interno di un cluster tecnologico contenente tutte le tecnologie di ultima generazione allora l’impatto sull’industria manifatturiera potrebbe essere estremamente significativo e di conseguenza potremo parlare di nuovo paradigma tecnologico in grado di apportare sostanziali trasformazioni al contesto socio-economico attuale.

BIBLIOGRAFIA

- Adamson, G., L. Wang and M. Holm (2013), 'The state of the art of cloud manufacturing and future trends,' 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the 41st North American Manufacturing Research Conference, Vol. 2. Systems; Micro and Nano Technologies; Sustainable Manufacturing Madison: Madison, WI, June 10–14.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Antonelli, C. (2018). *The Economic Complexity of Technological Change: Knowledge Interaction and Path Dependence*. Routledge.
- Berman, B., & Lee, J. (2019). *Digital transformation: A roadmap for billion-dollar organizations*. Taylor & Francis.
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31.
- Boston Consulting Group (2013). *The Key Enabling Technologies that Will Drive Manufacturing Innovation*.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company
- Chen, S., Liu, X., Yan, J., Hu, G., Shi, T. (2020) Processes, benefits, and challenges for adoption of blockchain technologies in food supply chains: a thematic analysis.
- Clark, G. (2007). *A farewell to alms: A brief economic history of the world*. Princeton University Press.
- Collart, A. J., Canales, E. (2020) How might broad adoption of blockchain-based traceability impact the U.S. fresh produce supply chain?
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: beyond bitcoin. *Applied innovation*, 2(6-10), 71-81.
- Fu, H., Zhao, C., Chengb, C., Ma, H. (2020), Blockchain-based agri-food supply chain management: case study in China.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Springer.

- Guerra, K. K., Boys, K. A. (2020) A new food chain: Adoption and policy implications to blockchain use in agri-food industries.
- Hägele, M. et al. "Robots for Smart Factories: Towards Flexible and Collaborative Manufacturing", IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 12, no. 4, pp. 6-22, Dec. 2018.
- Krzyzanowski, K., Cheng, T.C.E., Xu, Y., Liu, S., Kang, Y. (2022) What value does blockchain bring to the imported fresh food supply chain?
- Landes, D. S. (1969). The unbound Prometheus: Technological change and industrial development in Western Europe from 1750 to the present. Cambridge University Press.
- Li, L., Zhou, H. (2020). A survey of blockchain with applications in maritime and shipping industry.
- Lin, W., Ortega, D.L., Ufer, D., Caputo, V., Awokuse, T. (2020) Blockchain-based traceability and demand for U.S beef in China.
- Liu, S., Hua, G., Yan, J., Cheng, T.C.E., Xu, Y. (2022) What value does blockchain bring to the imported fresh food supply chain?
- Liu, W., Cheng, Y., Zhang, J. (2018). Cloud manufacturing: a review of recent advances and future directions. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94(5-8), 1641-1659.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H. (2011). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute.
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big data: the management revolution. Harvard Business Review, 90(10), 60-68.
- Nayga Jr, R. M., Snell, H. A. (2021) Consumer valuation of blockchain traceability for beef in the United States.
- Philbeck, T., Davis, N. (2018). The fourth industrial revolution. Journal of International Affairs, 72(1), 17-22.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. Harvard Business Review, 92(11), 64-88.
- Rifkin, J. (2011). The third industrial revolution: How lateral power is transforming energy, the economy, and the world. St. Martin's Press.
- Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. Crown Business.
- Sharma, A., Singh, R.K., Bhatia, T. (2022) Blockchain adoption in agri-food supply chain management: an empirical study of the main drivers using extended utaut.

- Shin, J.P., Larsen, K.R., Risius, M., Jain, H. (2021). The 4th industrial revolution powered by the integration of AI, blockchain, and 5G.
 - Snell, H. A., Nayga Jr, R. M. (2021) Consumer valuation of blockchain traceability for beef in the United States.
 - Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world.
 - Wang, L., J. Törngren and C. Onori (2015), "Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 37, pp. 517-527.
 - Wohlers, T. (2019). Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report.
-

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia gratitudine al mio relatore, il Professor Pompei, la sua guida ed il suo immenso bagaglio di conoscenze hanno giocato un ruolo fondamentale nello sviluppo della mia tesi. La sua dedizione e la sua passione per il nostro campo di studio sono state una fonte di ispirazione costante.

Ai miei genitori, voglio dedicare un sentito e speciale ringraziamento. Senza il loro amore incondizionato, il loro sostegno, i loro sacrifici e la loro fiducia in me, non sarei mai riuscito a raggiungere questo traguardo. Siete stati la mia certezza, sempre presenti nelle sfide e nei successi e vi sarò eternamente grato per tutto ciò che avete fatto per me.

Un caloroso ringraziamento va ai miei amici. Con il vostro costante sostegno ed incoraggiamento, avete creduto in me e nelle mie capacità, spingendomi sempre a dare il massimo. I momenti passati insieme, sia di studio che di svago o di lavoro, sono diventati preziosi ricordi che porterò con me per sempre.

Desidero ringraziare anche i miei colleghi e compagni di studio, con i quali ho condiviso le gioie e le fatiche di questi due anni accademici. Insieme, abbiamo affrontato le sfide che ci siamo trovati di fronte, sostenendoci reciprocamente e trovando la forza necessaria per perseverare. La nostra collaborazione e il sostegno reciproco hanno reso questo viaggio ancora più speciale. Sono fiero di aver fatto parte di voi.

Infine, vorrei esprimere la mia gratitudine a tutti coloro che, in qualsiasi modo, hanno contribuito al mio percorso di laurea. Il vostro appoggio, i vostri consigli ed il vostro supporto sono stati fondamentali per il mio successo. A tutti voi, porgo il mio più sincero ringraziamento.

Per aspera ad astra!

RIASSUNTO

La blockchain è una tecnologia innovativa che ha suscitato grande interesse grazie alle sue caratteristiche di sicurezza, trasparenza e immutabilità dei dati. Tuttavia, la blockchain è solo un elemento di un ecosistema tecnologico più ampio. Essa rappresenta un registro distribuito che consente la registrazione e la verifica sicura e trasparente delle transazioni. Questo può essere applicato in diversi settori come finanza, gestione della catene di approvvigionamento e tracciabilità delle transazioni.

Tuttavia, per comprendere appieno il potenziale rivoluzionario della blockchain, è necessario considerare il suo impatto all'interno di un insieme di tecnologie dell'era 4.0. L'era delle tecnologie 4.0 è caratterizzata dall'interconnessione di dispositivi intelligenti, raccolta e analisi di grandi quantità di dati, blockchain, intelligenza artificiale, robotica avanzata, stampa 3D, machine learning, reti 5G, cloud manufacturing e realtà aumentata. Queste tecnologie, lavorando sinergicamente, creano un ecosistema digitale in cui le informazioni vengono elaborate, condivise e utilizzate in modo efficiente e intelligente.

Quando la blockchain interagisce con l'Internet of things, ad esempio, può garantire la sicurezza e l'integrità dei dati scambiati tra dispositivi connessi. L'intelligenza artificiale può beneficiare della blockchain come meccanismo per accedere a dati verificabili e affidabili, consentendo l'apprendimento e l'adattamento automatico degli algoritmi. La robotica avanzata può utilizzare la blockchain per tracciare e convalidare le azioni dei robot, migliorando la sicurezza e la collaborazione.

Inoltre, l'analisi dei big data può trarre vantaggio dall'utilizzo della blockchain per garantire la sicurezza e l'autenticità dei dati raccolti. La combinazione di queste tecnologie con altre come la realtà aumentata, la stampa 3D, il cloud manufacturing, il 5G network ed il machine learning può aprire nuove possibilità di innovazione e trasformazione in molteplici settori.

La blockchain da sola fornisce trasparenza e immutabilità dei dati, ma è solo quando viene combinata con altre tecnologie dell'era 4.0 che può diventare un vero e proprio nuovo paradigma tecnologico. L'interazione tra la blockchain, l'Internet of things, l'intelligenza

artificiale, la robotica, i big data e altre tecnologie emergenti offre possibilità di innovazione e trasformazione su vasta scala. Questo cluster di tecnologie che lavorano insieme può creare un ecosistema digitale interconnesso, in cui la fiducia, l'efficienza e l'autonomia sono significativamente migliorate, portando a importanti cambiamenti sia nel settore manifatturiero che nel contesto sociale ed economico complessivo.

I casi studio di "Bu Bu Chicken" e "Shan Liang Taste" sono esempi significativi dell'applicazione di queste tecnologie nella gestione della filiera agroalimentare. Attraverso l'integrazione di blockchain e Internet delle cose, il progetto "Bu Bu Chicken" ha reso possibile la tracciabilità accurata del pollo dalla fattoria alla tavola, creando fiducia e trasparenza nella catena di approvvigionamento. Shan Liang Taste ha rivoluzionato la gestione della filiera agroalimentare integrando tecnologie come Internet of things, blockchain e big data, semplificando la gestione degli ordini, garantendo la sicurezza delle transazioni e standardizzando i servizi di produzione.

L'applicazione della blockchain e di altre tecnologie innovative nella gestione della filiera agroalimentare offre vantaggi significativi in termini di tracciabilità, fiducia, efficienza e qualità del prodotto. Questi casi studio dimostrano il potenziale trasformativo di queste tecnologie nell'industria manifatturiera e sottolineano l'importanza di sfruttarle per affrontare le sfide attuali e future della filiera agroalimentare.

In conclusione, l'analisi delle tecnologie dell'era 4.0 e i casi studio esaminati ci hanno mostrato che la blockchain, se utilizzata singolarmente, non è in grado di cambiare drasticamente il contesto sociale ed economico. Tuttavia, se considerata all'interno di un cluster tecnologico che comprende tutte le tecnologie di ultima generazione, può avere un impatto significativo sull'industria manifatturiera, aprendo la strada a trasformazioni sostanziali nel contesto socio-economico attuale.