



DISES - Dipartimento di Scienze Economiche e Sociali
Corso di Laurea Magistrale in Scienze Economiche e Sociali
Curriculum Banche e Mercati

BLOCKCHAIN : SVILUPPI E APPLICAZIONI PER LE SMART GRID

BLOCKCHAIN: DEVELOPMENTS AND APPLICATIONS IN SMART GRIDS

Relatore:

Prof. Grandoni Dario

Tesi di laurea di:

Luca Tradito

Anno Accademico 2022 - 2023

Introduzione	3
1. Introduzione alla blockchain	6
1.1 Blockchain: un sistema di scambio peer-to-peer	7
1.2 Central Ledger, Decentralized Ledger, Distributed Ledger	8
1.3 Le transazioni sulla blockchain	10
1.4 La blockchain come registro immutabile: La Proof of Work.....	12
1.5 Scalabilità.....	14
1.6 Soluzioni al problema della scalabilità. Soft Fork e Hard Fork.....	15
1.7 La Blockchain Ethereum	16
1.8 Gli Smart Contract.....	17
1.9 Gli Smart Contract nella Ethereum Virtual Machine	18
1.10 Dagli Smart Contract alle Decentraziled App (dAapp).....	20
1.11 Dalla blockchain Ethereum alla Blockchain as a Service	22
2. Introduzione Apio S.r.l. e progetti blockchain based	25
2.1 Trusty	26
2.2 Focus settore energetico	30
2.2.1 Il Contesto del Sistema Elettrico Italiano	34
2.2.1 Il Sistema Elettrico Nazionale	38
2.2.2 Geco – Green Energy Community. Comunità Energetiche in Italia	39
2.2.3 La Dimensione Legale: Regolamentazione europea e italiana.....	41
3. Analisi della blockchain come tecnologia abilitante per la transizione a sistemi energetici decentralizzati	44
3.1 Analisi dei sistemi di tokenizzazione e trading di energia su blockchain.....	61
3.2 Analisi della blockchain come strumento per la gestione dei diritti di proprietà delle risorse energetiche rinnovabili	65
3.3 La blockchain per il mercato flessibile e la gestione della smart grid: l’approccio Platone .	67
3.4 Convalida dei Risultati	74
4. Business Model.....	76
4.1 Differenziazione da Acceleratori, Incubatori e Corporate Venture Capital	76
4.1 Classificazione dei Venture Builder	79
Bibliografia	87

Introduzione

La presente tesi propone un approfondimento riguardo all'evoluzione, l'adozione e le applicazioni della tecnologia blockchain nell'ambito aziendale, con particolare attenzione ai progetti e alle soluzioni offerte da Apio S.r.l., azienda specializzata nello sviluppo di software su misura per varie realtà aziendali.

L'obiettivo di questo lavoro consiste principalmente nel dimostrare, attraverso l'analisi di alcuni progetti, come la tecnologia blockchain sia ormai sufficientemente matura da permetterne l'implementazione e l'impiego in scenari imprenditoriali concreti. Il caso che verrà approfondito è quello di PlatOne, (PLATform for Operation of distribution Networks), un consorzio europeo di aziende ed enti finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del Programma Quadro per la Ricerca e l'Innovazione "Horizon 2020". L'obiettivo di PlatOne è sviluppare e testare una soluzione tecnologica avanzata per abilitare i meccanismi di flessibilità energetica all'interno di un mercato europeo aperto e inclusivo.

Il progetto risponde alla sfida di mitigare le congestioni di rete causate dall'aumento dell'energia elettrica da fonti rinnovabili a generazione variabile e di sistemi di riscaldamento, raffreddamento e mobilità elettrici. Acea, insieme a Siemens, Engineering e la startup Apio S.r.l., è responsabile per il coordinamento del "pilota italiano", svolgendo un ruolo chiave nel percorso verso un nuovo modello di mercato dell'energia.

Il progetto è stato attivato per la prima volta in via sperimentale sulla rete di distribuzione di Roma e prevede investimenti per ricerca e interventi innovativi sulle reti elettriche, sulle piattaforme di mercato e sugli strumenti di interfaccia per un valore di 9,5 milioni di euro, di cui 7,5 milioni finanziati dalla Commissione Europea.

L'approccio innovativo del progetto PlatOne, che utilizza anche la tecnologia blockchain, mira a trasformare il cliente in un partner che offre servizi di flessibilità e contribuisce a garantire l'equilibrio tra domanda e offerta di energia a beneficio dell'intera comunità. L'obiettivo è ottimizzare il funzionamento della rete e renderla più stabile e resiliente, anche in presenza di grandi produzioni di energia da fonti rinnovabili.

Il settore pubblico europeo sta giocando un ruolo pionieristico nella blockchain costruendo la sua propria infrastruttura blockchain. Questa infrastruttura, nel tempo, includerà l'interoperabilità con

le piattaforme del settore privato. Il Partenariato Europeo per la Blockchain sta realizzando questa visione, che è uno sforzo congiunto di tutti i 27 paesi dell'UE, Norvegia, Liechtenstein e la Commissione Europea. La stessa Unione Europea incentiva fortemente lo sviluppo di questa tecnologia, dichiarando di voler essere leader nello sviluppo della blockchain e voler diventare un punto di riferimento significativo per piattaforme, applicazioni e aziende coinvolte, attraverso il raggiungimento della costruzione di una blockchain paneuropea dei servizi pubblici: l'obiettivo principale dell'European Blockchain Partnership è costruire l'European Blockchain Services Infrastructure (EBSI). L' EBP aiuta a evitare la frammentazione del panorama blockchain promuovendo una stretta collaborazione tra i paesi dell'UE. La partnership supporta l'interoperabilità e l'ampia diffusione di servizi basati su blockchain. Offre un ambiente conforme alle normative nel pieno rispetto delle leggi dell'UE e con strutture e modelli di governance chiari per aiutare questa tecnologia a crescere e prosperare in tutta Europa. Attraverso questo progetto, i responsabili politici europei acquisiscono una conoscenza diretta di come questa funzioni, dove può essere applicata al meglio e quali sono il suo potenziale e i suoi rischi. L'EBP funge sia da sandbox tecnologico che normativo, si spera che porti a una regolamentazione migliore e più informata sul fronte tecnologico e dei casi d'uso¹

Il principale vantaggio dell'impiego della blockchain è sicuramente il superamento del problema della fiducia tra le parti, siano queste persone o organizzazioni, rendendo possibile effettuare diverse tipologie di transazioni senza la necessità della supervisione di un terzo soggetto deputato alla certificazione della correttezza di ogni fase degli scambi.

La Commissione riconosce l'importanza della certezza legale e di un chiaro regime regolatorio in aree relative alle applicazioni basate sulla blockchain. Pertanto, sta attualmente sviluppando un quadro legale pro-innovazione nelle aree degli asset digitali (tokenizzazione) e dei smart contract.

Sul fronte finanziario, l'UE fornisce fondi per la ricerca e l'innovazione blockchain attraverso sovvenzioni e supporto agli investimenti. Dal 2016 al 2019, la Commissione ha fornito circa 180 milioni di euro in sovvenzioni attraverso Horizon 2020. Si prevede un budget significativo per ulteriori sovvenzioni nel programma Horizon successivo, Horizon Europe.

Inoltre, l'UE riconosce il potenziale della blockchain e supporta l'uso della tecnologia blockchain per promuovere lo sviluppo economico sostenibile, affrontare il cambiamento climatico e sostenere il

¹ (Commissione Europea, 2023)

Green New Deal europeo. La Commissione crede fortemente nell'importanza degli standard nel promuovere la tecnologia blockchain e cerca di coinvolgere tutti gli organismi rilevanti a livello globale².

Infine, ci sono iniziative incentrate sullo sviluppo delle competenze per garantire che le competenze di alto livello necessarie siano disponibili. Il Programma Europa Digitale fornisce finanziamenti strategici per rispondere a queste sfide e supporta lo sviluppo di un pool di talenti di esperti digitali qualificati. Con un budget totale di 580 milioni di euro per le competenze digitali in 7 anni, il Programma Europa Digitale migliora la cooperazione tra gli Stati membri dell'UE e gli stakeholder nelle competenze e nei lavori digitali.

Oggi queste tecnologie non rappresentano più soltanto degli strumenti migliorativi dei processi esistenti, ma abilitano alla creazione di modelli organizzativi inediti e innovativi. La blockchain, insieme ad altre tecnologie, potrebbe essere alla base della prossima evoluzione di internet, ossia il web3, una versione decentralizzata del web che potrebbe rappresentare la naturale evoluzione di quello attuale, centralizzato e dominato dalle big tech.

L'obiettivo di questo lavoro, quindi, consiste principalmente nel dimostrare, attraverso l'analisi di diversi progetti, come la tecnologia blockchain sia ormai sufficientemente matura da permetterne l'implementazione e l'impiego in scenari imprenditoriali concreti, dove i benefici apportati dalle nuove tecnologie possano condurre alla creazione di nuovi business model compatibili con gli scenari strategici futuri.

² (Commissione Europea, 2022)

1. Introduzione alla blockchain

Prima di poter analizzare tali progetti però occorrerà ripercorrere e descrivere i fondamenti della blockchain: questa tecnologia infatti, viene sviluppata nel 2009 con la nascita della criptovaluta Bitcoin, ad opera di un non meglio identificato Satoshi Nakamoto, senza però rivelare alcuna utilità se non per lo scopo per la quale era stata concepita, essere cioè l'infrastruttura informatica che permettesse le transazioni della moneta virtuale detenuta dagli utenti che partecipassero al network.

Negli anni successivi, complice il maggior interesse riguardo il sempre crescente valore del Bitcoin, si inizia a sviluppare un'attenzione diversa al fenomeno. Grazie all'intuizione di Vitalik Buterin, che intravede nella blockchain il potenziale per applicazioni che vanno ben oltre le semplici transazioni, vengono poste le basi per l'impiego della blockchain in altri contesti.

Buterin concepisce infatti la blockchain come un sistema aperto, tramite il quale i partecipanti della rete possono disporre di questa infrastruttura informatica per programmare propri software che rispondono alle più svariate esigenze, dove il filo conduttore che lega i partecipanti del network è l'impiego della criptovaluta proprietaria Ethereum come valore di scambio per i servizi di cui si usufruisce.

Ed è proprio il successo raggiunto con Ethereum che rende chiaro al di fuori dell'ambiente di nicchia che la blockchain ha i requisiti giusti per essere impiegata per rivoluzionare gli approcci organizzativi e gestionali attualmente utilizzati da imprese e aziende di diversi settori.

La peculiarità di questa tecnologia, infatti, consiste principalmente nel fornire un registro non manomettibile né modificabile una volta che vengono aggiunti e registrati nuovi record. Implementandola nei processi di un'impresa sarebbe quindi possibile tenere traccia di qualsiasi tipologia di operazione in maniera certa e inequivocabile, comportando una maggiore efficienza nei processi produttivi e nella gestione dei costi.

Nelle pagine seguenti vengono illustrati i fondamenti e le caratteristiche tecniche della struttura blockchain, le modalità di funzionamento di quest'ultima e i casi di implementazione da parte di Apio S.r.l., società che sviluppa soluzioni basate su questa tecnologia.

1.1 Blockchain: un sistema di scambio peer-to-peer

Il concetto di blockchain nasce con il Bitcoin nel 2008, essendo questa l'infrastruttura informatica dove vengono eseguite le transazioni da un utente all'altro.

Bitcoin viene classificato come criptomoneta, tramite la quale è possibile acquistare beni e servizi, o ricevere e inviare pagamenti ad un soggetto terzo tramite internet. Affinché questo fosse possibile è stato necessario adottare una tecnologia che non permettesse di duplicare discrezionalmente l'oggetto della transazione, come può avvenire per qualsiasi file virtuale, e che quindi consenta di mantenere l'inequivocabile certezza circa la proprietà e il valore dell'asset ricevuto. L'ideatore di Bitcoin, nonché della blockchain, il cui pseudonimo è Satoshi Nakamoto illustra nel whitepaper³ del progetto iniziale Bitcoin, la visione del funzionamento della rete. Il sommario del documento pubblicato nel 2008 concepisce e descrive per la prima volta il funzionamento di tale registro decentralizzato:

“Una versione puramente peer-to-peer di denaro elettronico permetterebbe di spedire direttamente pagamenti online da un'entità ad un'altra senza passare tramite un'istituzione finanziaria. Le firme digitali offrono una soluzione parziale al problema, ma i benefici principali sono persi se una terza persona di fiducia è ancora richiesta per prevenire la doppia spesa. Proponiamo una soluzione al problema della doppia spesa mediante l'utilizzo di una rete peer-to-peer. La rete stampa un marcatore temporale sulle transazioni facendo hashing sulle stesse e incatenandole in una catena di proof-of-work basata sugli hash, formando una registrazione che non può essere modificata senza rifare la proof-of-work. La catena più lunga non solo serve come prova della sequenza di eventi ai quali si è assistito, ma anche come prova che essa proviene dal gruppo più grande di potenza CPU. Fintanto che la maggior parte della potenza CPU è controllata da nodi che non cooperano per attaccare la rete, questi genereranno la catena più lunga e supereranno gli utenti malintenzionati. La rete stessa richiede una struttura minimale. I messaggi sono trasmessi su base best effort, e i nodi possono lasciare e ricongiungersi con la rete a loro piacimento, accettando la catena proof-of-work più lunga come prova di quello che è avvenuto mentre non erano presenti.”

³ (Nakamoto, 2008)

L'obiettivo principale perseguito è quindi l'eliminazione dell'intermediario con funzione di garante delle transazioni monetarie, rendendo possibile lo scambio di valore tra soggetti sconosciuti che non godono di fiducia reciproca.

Concretamente la blockchain è un protocollo di comunicazione, che si basa su una tecnologia fondata sulla logica del database distribuito, cioè un database in cui i dati non sono memorizzati su un solo computer ma su più macchine collegate tra loro, chiamate nodi.

La blockchain è quindi immaginabile come una serie di blocchi, ognuno dei quali a sua volta contiene un insieme di transazioni validate e correlate da un marcatore temporale: il timestamp è un numero che esprime una grandezza temporale e serve appunto a connettere i blocchi in ordine cronologico, oltre a garantire l'immutabilità degli stessi una volta approvati.

Ogni blocco include l'hash: una funzione algoritmica informatica non invertibile che converte una stringa di lunghezza arbitraria in una stringa di lunghezza predefinita che permette così di identificare il blocco in modo univoco, consentendo il collegamento con il blocco precedente tramite la sua identificazione. L'hash permette così di creare la catena e di legare un blocco all'altro.

Ciascun blocco contiene dunque diverse transazioni. La transazione contiene invece informazioni relative all'indirizzo pubblico del ricevente, ovvero una stringa alfanumerica che svolge la funzione di iban, le caratteristiche della transazione e la firma crittografica che garantisce sicurezza e autenticità della transazione.

La blockchain è organizzata per aggiornarsi automaticamente su ciascuno dei nodi che sono i partecipanti alla blockchain, costituiti fisicamente dai server di ciascun partecipante che appartiene al network.

Qualsiasi transazione effettuata necessita di essere approvata in maniera automatica da tutti i singoli nodi attraverso software di crittografia, i quali accertano che un pacchetto di dati, definito private key o seed, utilizzato per firmare le transazioni garantisca l'identità digitale di chi le ha autorizzate.

Come detto, la blockchain è un database distribuito. Quindi, per capire bene cos'è la blockchain, è necessario capire meglio cos'è un database distribuito, vale a dire, una base di dati distribuita, condivisa tra più computer, chiamati nodi, connessi alla rete.

1.2 Central Ledger, Decentralized Ledger, Distributed Ledger

Parlando di blockchain è necessario seguire l'evoluzione nel tempo delle varie tipologie di ledger, quest'ultimo traducibile nella sua accezione originale come libro mastro.

Il central ledger, infatti, come il libro mastro, è un registro di dati, che fa capo ad una struttura o organizzazione centrale, la quale è l'unica ad avere accesso alla gestione del libro mastro. Come precedentemente accennato, il central ledger ha come prerogativa necessaria la fiducia nell'autorevolezza dell'istituzione o organismo che gestisce il relativo registro dati, essendo questo l'unico soggetto abilitato all'accesso e alla modifica del libro mastro.

In una logica di decentralizzazione di un registro, il decentralized ledger rappresenta sicuramente un primo passo in avanti rispetto al modello del central ledger nella direzione del superamento di un soggetto unico deputato all'integrale gestione di un database. Il modello di database decentralizzato in questione prevede come paradigma organizzativo non più quello della gestione esclusiva del singolo soggetto istituzionale, bensì presume una rete i cui i flussi informativi siano gestiti da più centri di comando in una logica di accentramento locale, ovvero una moltitudine di soggetti centrali detengono i dati configurando uno schema organizzativo "uno a tanti", che interagiscono a loro volta con altri centri impostati nella stessa maniera. Si delinea così una modalità di governance costruita su un nuovo concetto di fiducia, poiché il coordinamento non fa più capo unicamente ad un unico soggetto, ma ad una moltitudine di questi.

Il distributed ledger, che possiamo intendere come un'evoluzione del decentralized ledger, in questo senso rappresenta il vero punto di rottura rispetto agli altri modelli di registro. La peculiarità di questa impostazione di condivisione e registrazione dati annulla la posizione dominante di qualsiasi soggetto con poteri decisionali superiori rispetto agli altri utilizzatori della rete.

Il distributed ledger, modello su cui si basa la blockchain, propone un tipo di governance in cui è superata qualsiasi logica di accentramento, rendendo possibile la costruzione del consenso da parte di tutti gli utenti del network, con la conseguente nascita di un nuovo concetto di fiducia tra i partecipanti della rete, anche se questi sono soggetti estranei tra loro (Burkhardt, Werling, & Lasi, 2018). Ma per comprendere a pieno le caratteristiche del distributed ledger è necessario approfondire il funzionamento di quest'ultimo e le modalità operative del sistema decentralizzato, ovvero della blockchain.

1.3 Le transazioni sulla blockchain

Semplificando una transazione in Bitcoin è la convalida del network delle transazioni degli utenti che autorizzano il trasferimento di proprietà di un determinato ammontare di criptovaluta ad altri utenti, i quali saranno successivamente in grado di ripetere questo passaggio verso altri utenti, così via fino a creare un continuo passaggio di proprietà del valore, che come precedentemente detto non è in alcun modo duplicabile ma esclusivamente trasferibile.

Vediamo quindi in che modo avvengono queste operazioni e quali soluzioni tecniche sono state implementate per poter mantenere il numero limitato di bitcoin esistente, scongiurando così la duplicazione illecita e preservando il valore che deriva da una quantità limitata di quest'ultimo.

L'utente della rete Bitcoin, per avviare una transazione, dovrà creare un messaggio contenente il proprio indirizzo pubblico, l'indirizzo pubblico del beneficiario e l'importo che intende trasferire nella transazione. L'utente dovrà poi firmare questo messaggio con la sua chiave crittografica e trasmetterlo a tutto il network, quest'ultima sarà necessaria a garantire l'autenticità e l'attendibilità della transazione.

Grazie alla crittografia la firma è associata ad una chiave privata, le cui caratteristiche sono proprio l'unicità e l'impossibilità di replicazione da parte di terzi. Una o più transazioni generate in un dato momento vengono raggruppate appunto in un blocco.

Successivamente i blocchi appena generati vengono inoltrati a tutti i partecipanti del network nel mondo che svolgono l'attività di validatori, o come vengono chiamati in gergo, minatori. La funzione di questi soggetti consiste nell'ottenere una versione continuamente aggiornata del registro delle transazioni effettuate, la blockchain quindi, uguale per tutti i partecipanti della rete a livello globale.

Succede infatti frequentemente che le transazioni vengano recepite da ogni miner in diverso ordine l'uno dall'altro; così per fare in modo che si pervenga all'unanimità alla stessa copia di registro condivisa da tutti viene svolta una sorta di votazione in cui si propone la propria versione del registro con l'ultimo blocco di transazioni convalidato. Per poter fare questo è però necessario risolvere un complesso problema matematico, un puzzle crittografico nello specifico, legato alla propria versione del registro, che può essere risolto solo attraverso vari tentativi casuali.

Il primo miner che trova la soluzione a questo problema matematico avrà la possibilità di diffondere per primo la propria versione aggiornata del registro.

Nella maggior parte dei casi, il primo miner che crea un blocco valido e lo aggiunge alla catena viene ricompensato con la somma delle commissioni per le sue transazioni. Le commissioni fanno riferimento a valori unitari per ogni singola transazione, ma i blocchi vengono aggiunti regolarmente e possono contenere migliaia di transazioni, dunque, il valore della ricompensa può essere anche molto significativo.

L'operazione che aggiunge un nuovo blocco alla catena aggiorna il Libro Mastro detenuto da tutti i partecipanti alla blockchain. Questi partecipanti accettano dunque un nuovo blocco, da qui la spiegazione del perché si parla di "consenso", nel momento in cui, grazie alla risoluzione del complesso problema matematico, è stata verificata la validità di tutte le sue transazioni⁴.

Nel caso in cui il processo di verifica dovesse rilevare un errore, una anomalia, una discrepanza, il blocco viene rifiutato e tutti hanno visibilità del fatto che la transazione non è stata autorizzata. Diversamente, se tutte le transazioni sono validate, il blocco viene creato e aggiunto ed entrerà a far parte della blockchain (della catena) a tutti gli effetti come un record pubblico permanente e immutabile; nessun partecipante alla blockchain potrà cambiarlo o rimuoverlo.

COMPONENTI E AZIONI DELLA BLOCKCHAIN



⁴ (Crosby, et al., 2016)

1.4 La blockchain come registro immutabile: La Proof of Work.

Il grande valore della blockchain viene evidenziato dall'immutabilità del registro che rappresenta. Per comprendere questa sua peculiarità è necessario approfondire il ruolo dei nodi e il processo che porta alla validazione dei blocchi per essere aggiunti alla blockchain. Vedremo quindi come risulti estremamente difficile se non addirittura impossibile modificare le operazioni già convalidate e inserite nel registro.

Come detto prima, ogni blocco di transazioni deve essere approvato e convalidato dai nodi, i quali devono assicurarsi di due cose: in primis che il mittente possieda criptovaluta, verificabile analizzando la sua chiave crittografica, e in secondo luogo che ne abbia a sufficienza per completare la transazione richiesta nei confronti del ricevente, attraverso l'analisi della chiave pubblica di quest'ultimo.

Il problema principale di questo procedimento consiste però nel garantire un ordine nella rete peer-to-peer di queste transazioni, le quali non vengono trasmesse agli altri nodi necessariamente nell'ordine in cui sono generate. Si rende quindi necessario come anticipato ad inizio capitolo un sistema che eviti il problema del Double Spending, ovvero della spesa ripetuta dello stesso bitcoin o di una frazione di esso.

Sempre come visto precedentemente i nodi devono validare le transazioni risolvendo un complicato puzzle crittografico, ossia dimostrando di impiegare una rilevante quantità di lavoro computazionale nella validazione dei blocchi, i quali verranno accettati nella blockchain se conterranno la corretta soluzione al complesso gioco matematico sottoposto⁵.

L'algoritmo di complessità del puzzle può modulare la difficoltà di risoluzione in maniera in maniera tale che siano necessari circa dieci minuti affinché la soluzione per singolo blocco venga trovata. In questo modo è altamente improbabile che più di un blocco venga risolto in questo lasso di tempo.

Ribadito il concetto di validazione dei blocchi possiamo comprendere perché a inizio paragrafo la blockchain è stata descritta come registro immutabile.

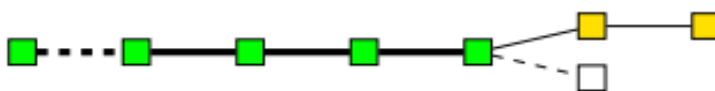
Poniamo il caso che un utente volesse inserire nel processo di validazione una transazione disonesta in mezzo a blocchi con transazioni regolari.

⁵ (Pilkington, 2016)

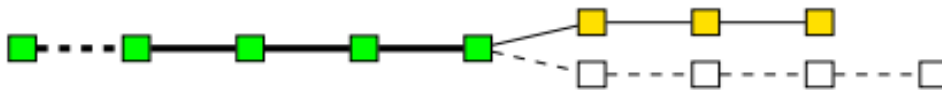
Tale utente dovrebbe avere tanta potenza di calcolo quanto il 50%+1 della potenza della rete. Questo perché non è sufficiente validare soltanto il blocco con la transazione fittizia, poiché la rete accetta come valida la catena di blocchi più lunga bisognerebbe successivamente competere computazionalmente contro tutti i nodi “buoni” per validare ogni blocco seguente prima del resto degli utenti della rete per far accettare la propria transazione. Senza considerare che questo lavoro viene reso ulteriormente più difficile dal momento che ogni nodo è collegato agli altri crittograficamente.



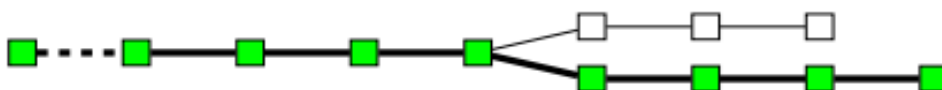
(a) Stato iniziale della blockchain, dove tutte le transazioni sono considerate valide



(b) I nodi onesti continuano ad estendere la blockchain con le transazioni valide aggiungendo i blocchi in giallo, mentre il nodo disonesto prepara segretamente il ramo della blockchain con la transazione fraudolenta



(c) Il singolo nodo disonesto, o una coalizione di questi, dovrebbero processare una catena di blocchi più lunga e più velocemente del resto dei nodi per inserire la transazione fraudolenta



(d) Soltanto se si verifica l'ipotesi descritta in (c) il nuovo ramo verrebbe considerato valido

1.5 Scalabilità

Il problema della scalabilità è diventato quanto mai di urgente risoluzione dopo che nel 2017 si è assistito ad una crescita esponenziale dell'utilizzo del Bitcoin e di conseguenza degli utilizzatori della rete. Il ritmo di crescita della blockchain è limitato per motivi progettuali: questa, infatti, è stata concepita per supportare dalle 3 alle 7 transazioni al secondo. Conseguentemente ogni blocco di transazioni è strutturato per avere un peso massimo di dati corrispondente ad 1 MB: non si vuole infatti che questi ultimi diventino file di dati troppo grandi perché in tal caso, la potenza di calcolo della maggioranza dei peer, necessaria a convalidare i blocchi con le transazioni, non sarebbe a loro portata, bensì sarebbe utilizzabile soltanto da grandi imprese capaci di poter affrontare gli elevati costi che si configurerebbero in termini energetici e di hardware necessari a fornire adeguata potenza computazionale per la convalida delle transazioni contenute nei blocchi. Si tornerebbe così ad un impianto centralizzato della gestione delle transazioni, configurando uno schema di governance non molto differente da quello delle attuali banche. Ciò andrebbe in netto contrasto con la filosofia del creatore stesso di Bitcoin, che concepì questa struttura per consentire una reale decentralizzazione. Inoltre, la dimensione limitata dei blocchi si rende necessaria anche per motivi di sicurezza: nel caso in cui fosse assente un limite dimensionale di questi, non sarebbe difficile congestionare la rete, se non addirittura paralizzarla, creando blocchi con un numero elevato di transazioni all'interno, in modo da rendere il loro peso ingestibile da processare per i nodi tramite la proof of work precedentemente descritta. Il problema della scalabilità è quindi sintetizzabile come il sovraccarico che la rete subisce in caso di un numero elevato di utilizzatori della stessa.

1.6 Soluzioni al problema della scalabilità. Soft Fork e Hard Fork.

I fork sono strumenti utilizzabili per diverse ragioni, di cui una sicuramente è il miglioramento dell'efficienza delle transazioni in termini di costo e tempi di una transazione, e si pongono quindi come una possibile soluzione al problema della scalabilità sopra menzionato. I fork consistono in un aggiornamento dei parametri sui quali è stata sviluppata originariamente il protocollo della blockchain di riferimento, possono essere di due tipologie: soft fork e hard fork.

Il soft fork mette in atto un cambiamento reversibile del protocollo che imposta nuovi parametri della blockchain e consente ai nodi della rete se scegliere, per varie ragioni, se effettuare o meno l'aggiornamento, senza che questa decisione comprometta l'utilizzo stesso della rete poiché la versione aggiornata risulterà comunque compatibile con il protocollo precedente.

Al contrario un hard fork implica un aggiornamento irreversibile del protocollo, pregiudicando totalmente la compatibilità con la versione precedente della blockchain, imponendo così ai partecipanti l'aggiornamento obbligatorio. A sua volta un hard fork può essere di tipo "planned" se già pianificato in sede di sviluppo della blockchain, o di tipo "contentious", se non trova consenso da parte degli utilizzatori della rete e viene comunque implementato da parte degli sviluppatori. Quest'ultima modalità di hard fork in particolare porta alla nascita di una nuova catena di blocchi che nulla condividerà con la precedente.

Se i vantaggi, seppur con diverse implicazioni, delle due modalità di fork conducono comunque ad un miglioramento dell'efficienza generale della rete, per contro, il rischio che genera un fork, che si traduce in una separazione della blockchain, è quello di creare un accentramento nella gestione della stessa, a causa dell'indebolimento del meccanismo di consenso basato sulla proof of work creato inizialmente, poiché questo è direttamente proporzionale al numero di utilizzatori della rete.



1.7 La Blockchain Ethereum

La blockchain Ethereum viene sviluppata da Vitalik Buterin (31 gennaio 1994), programmatore e scrittore russo. Consapevole delle potenzialità che la blockchain bitcoin potesse offrire, nel 2014 presenta il whitepaper di Ethereum, una piattaforma sempre basata sulla “catena di blocchi” ma dalle funzionalità molto più generalizzate, sulla quale chiunque può costruire il proprio software approfittando soprattutto dei citati *smart contract* ⁶:

“The blockchain paradigm when coupled with cryptographically secured transactions has demonstrated its utility through a number of projects, with Bitcoin being one of the most notable ones. Each such project can be seen as a simple application on a decentralised, but singleton, compute resource. We can call this paradigm a transactional singleton machine with shared state. Ethereum implements this paradigm in a generalised manner. Furthermore, it provides a plurality of such resources, each with a distinct state and operating code but able to interact through a message-passing framework with others. We discuss its design, implementation issues, the opportunities it provides and the future hurdles we envisage.”

Semplificando Ethereum può essere descritto come un grande computer condiviso, capace di fornire una enorme potenza di calcolo disponibile a chiunque. Così con Ethereum si compie il passaggio dal concetto di Distributed Database a Distributed Computing.

Questa blockchain è a disposizione di qualsiasi utente che voglia utilizzare la Rete, potendo usufruire in questo modo di una piattaforma le cui caratteristiche sono l’elevata potenza di calcolo, l’immutabilità del registro, la trasparenza della sua gestione e l’assenza di censura. La caratteristica saliente della progettazione di Ethereum, che demarca una netta differenza con la blockchain bitcoin, consiste nel fatto che questa è stata sviluppata per permettere agli utenti di creare facilmente nuove applicazioni. Questa peculiarità caratterizza Ethereum, definito come “Programmable Blockchain”: la sua funzione non si esaurisce, cioè, nel consentire ai suoi utenti di eseguire operazioni standardizzate e programmate, bensì permette che siano gli utenti a creare le proprie operazioni. In sostanza è una piattaforma che permette di programmare svariate tipologie di applicazioni basate sulla tecnologia della decentralizzazione, che non siano esclusivamente limitate alle sole criptovalute.

⁶ (Wood, 2014)

1.8 Gli Smart Contract

Gli smart contract trovano le prime applicazioni a partire già dagli anni 90, ma è proprio con la blockchain che questi trovano un approdo ideale in grado di valorizzarne al meglio il potenziale. Una prima definizione giuridica nel nostro paese appare per la prima volta in un emendamento al D.L. n. 135/2018. Si definisce quindi smart contract:

“un programma per elaboratore che opera su tecnologie basate su registri distribuiti e la cui esecuzione vincola automaticamente due o più parti sulla base di effetti predefiniti dalle stesse. Gli smart contract soddisfano il requisito della forma scritta previa identificazione informatica delle parti interessate, attraverso un processo avente i requisiti fissati dall’Agenzia per l’Italia Digitale.”⁷

La funzione di uno smart contract è infatti riassumibile come un protocollo di transazioni informatizzate che esegue le condizioni di un contratto in modo automatico;

in altri termini sono accordi riscritti sotto forma di codice informatico basati sul sistema del distributed ledger – la blockchain – per la gestione di rapporti di scambio. Uno smart contract non ha la stessa valenza di un normale contratto sul piano giuridico, è invece assimilabile ad un software sviluppato per l’esecuzione di determinate condizioni.

Quindi uno smart contract è programmato in modo che non siano necessarie ulteriori clausole se non quelle incorporate nel codice, ed è così autosufficiente. Concretamente, una volta che i contraenti stabiliscono i termini e le condizioni del contratto, questi vengono tradotti in codice e aggiunti come blocco nella blockchain, diventando così verificabili, immutabili e irrevocabili. Una volta che le condizioni codificate nell’accordo sono esaudite (secondo una logica “if-then”), lo smart contract esegue i suoi effetti autonomamente, attraverso la trasmissione di token reciprocamente accettati dai contraenti come retribuzione dello scambio⁸. Si può inoltre impostare uno smart contract in modo che implementi una serie di input esterni, ad esempio il prezzo dei titoli oggetto di trasferimento. L’effettivo accadimento di un evento o meno o di determinate condizioni deve però derivare da fonti certe che sono denominate “oracoli”, ovvero software indipendenti, non collegabili alla blockchain, che supervisionano i dati esterni al sistema come l’andamento di titoli azionari, la temperatura di un certo ambiente, etc. Ciò non vuol dire che l’oracolo abbia una funzione da

⁷ (Cascinelli, et al., 2019)

⁸ (Buterin, 2014)

intermediario, il processo di esecuzione dello smart contract è infatti completamente automatizzato, non essendo presente nessuna entità che valuti la validità e la liceità della transazione ai sensi dell'ordinamento giuridico. È l'automazione dell'esecuzione dello smart contract a garantire la sicurezza alle parti nell'adempimento dello stesso. La blockchain è infatti strutturata per far sì che non ci sia alcun margine per violazioni volontarie delle condizioni stabilite. Ne deriva che i vincoli delle condizioni dell'accordo derivano dal codice con cui lo smart contract è eseguito, invece di essere contenuti in una fonte normativa. Gli smart contract consentono così di tagliare i costi eventualmente connessi all'individuazione di una controparte per la transazione, all'interpretazione della volontà negoziale, alla corretta esecuzione dell'accordo, a frodi e alla risoluzione delle controversie.

1.9 Gli Smart Contract nella Ethereum Virtual Machine

Come precedentemente visto la blockchain permette di vincolare le decisioni prese con il consenso stabilito dagli utenti della rete, senza che queste debbano essere approvate da un organo centrale che verifichi le attività: è questo il ruolo degli smart contract in Ethereum.

Questi smart contract sono lo strumento necessario ad attuare porzioni di codice che determineranno una transazione; gli smart contracts hanno accesso al portafoglio del proprio conto ether: ciò permette la corretta esecuzione delle condizioni del contratto, garantendo a tutti i contraenti della rete tracciabilità e trasparenza. Le transazioni nel caso della blockchain Ethereum consistono nell'invio di file di dati contenenti un messaggio informatico con i parametri dell'operazione richiesta destinata ad un account esterno. Si rende però necessario, per utilizzare la potenza di calcolo e i servizi messi a disposizione dalla rete, adottare come mezzo di pagamento l'Ether, che è appunto la valuta digitale impiegata come unità di conto per pagare le commissioni di servizio utili a far circolare transazioni e smart contract⁹.

La Ethereum Virtual Machine, il cui acronimo è EVM, è la piattaforma virtuale che permette l'esecuzione dei codici che costituiscono gli smart contract, che a sua volta si appoggia sulla

⁹ (Bogner, et al., 2016)

blockchain Ethereum fornendo la potenza di calcolo necessaria per l'esecuzione di questi ultimi. EVM rientra nella definizione di macchina virtuale, ovvero un software capace di replicare sotto ogni aspetto una macchina fisica, tramite un procedimento di virtualizzazione per il quale vengono assegnate le risorse fisiche (CPU, RAM, disco fisso, etc....) alle applicazioni che vengono eseguite al di sopra della macchina virtuale (tra cui il sistema operativo della stessa); le risorse computazionali vengono messe a disposizione dai computer degli utenti stessi della rete. Si delinea così uno spazio sicuro, isolato e protetto dal resto delle operazioni in esecuzione o dei file nel singolo computer appartenente all'utente, che cede parte delle sue risorse alla EVM. Un qualsiasi imprevisto, come un malfunzionamento di una parte della EVM non provoca effetti collaterali nel sistema del computer e nei processi del sistema operativo. Si intuisce allora come la EVM funga anche da garante per i nodi della rete, che "offrono" la propria infrastruttura fisica per la memorizzazione ed il processamento di smart contracts potenzialmente dannosi. Ethereum, dunque, con la sua nascita, si pone come un'evoluzione del precedente paradigma che rappresentava la blockchain bitcoin, segnando un superamento di quest'ultima, e non solo come una sua alternativa, dal momento che i contratti all'interno della blockchain Ethereum permettono di effettuare tutta una serie di diverse tipologie di operazioni come la registrazione di un dominio, l'avvio di un crowdfunding o la tutela della proprietà intellettuale.

1.10 Dagli Smart Contract alle Decentralized App (dApp)

Come precedentemente visto gli Smart Contracts sono programmi eseguibili sulla rete Ethereum. Differentemente dalla blockchain Bitcoin, i nodi di Ethereum sono impiegati nel processare la validità dei programmi scritti dagli utenti. Proprio attraverso l'utilizzo degli smart contracts è possibile creare le così dette dApps: queste possono essere utilizzate per creare una vasta gamma di applicazioni con le più svariate funzioni, che possono includere giochi, sistemi di voto online, prodotti finanziari e molto altro.

Per essere definita tale un'applicazione deve soddisfare i seguenti criteri¹⁰:

L'applicazione deve essere completamente open-source e funzionare in modo autonomo, senza soggetti che detengano la maggior parte dei suoi token, utilizzati come retribuzione del lavoro computazionale svolto. L'applicazione può adattare il proprio protocollo in risposta ai miglioramenti proposti e al feedback del mercato, ma tutte le modifiche devono essere decise per consenso degli utenti.

I dati e i record di funzionamento dell'applicazione devono essere archiviati crittograficamente in una blockchain pubblica e decentralizzata al fine di scongiurare criticità. L'applicazione deve utilizzare un token crittografico (bitcoin o token nativo del suo sistema) necessario per accedere all'applicazione e qualsiasi contributo di valore da parte dei miners deve essere ricompensato nei token dell'applicazione.

L'applicazione deve generare token secondo un algoritmo crittografico standard che funge da proof of work dei nodi che stanno contribuendo all'applicazione.

La classificazione delle dApp può avvenire secondo diversi parametri, di seguito quello utilizzato sarà la proprietà della blockchain utilizzata o l'impiego di una blockchain terza. In base a questa considerazione sono categorizzabili tre tipi di dApp:

Le decentralized app del tipo I eseguono le funzioni che sono chiamate a svolgere sulla propria blockchain, come nel caso di Bitcoin, che processa le sue transazioni all'interno della rispettiva blockchain. Le dApp del tipo II impiegano la blockchain di un'applicazione decentralizzata di tipo I.

¹⁰ (Raval, 2016)

Queste sono protocolli e hanno token propri necessari per la loro funzione. Le applicazioni decentralizzate di tipo III usufruiscono del protocollo di una dApp di tipo II. Anche queste sono protocolli e hanno token necessari per la loro funzione.

Un'analogia utile per una dApp di tipo I è un sistema operativo per computer (come Windows, Mac OS, Linux, Android, iOS), per una dApp di tipo II un programma software generico (come un elaboratore di testi, un software per fogli di calcolo) e per dApp di tipo III, una soluzione software specifica basata su un programma di tipo II. Utilizzando questa analogia è immaginabile che saranno presenti poche dApp del primo tipo, più Dapp di tipo II e ancora più Dapp di tipo III.

Alcuni esempi di tipologie di dApp esistenti sono:

- Sistemi di token: Possono essere utilizzati in svariati modi, che vanno dalla rappresentazione di asset reali, come una valuta o l'oro, a titoli finanziari. Alcuni token individuali possono invece essere usati per rappresentare proprietà virtuali personali, come cedole sicure e non modificabili.
- Sistemi di identificazione e reputazione: ad esempio un documento contenente i dati anagrafici e l'identità del proprietario di un titolo si può aggiungere alla rete, ma non è possibile modificarlo o rimuoverlo una volta catalogato. Qualsiasi persona può immettere una registrazione sulla blockchain in maniera tale che questa sia aggiunta permanentemente sul registro decentralizzato per confermare inequivocabilmente la sua identità.
- Storage decentralizzato dei file: una dApp simile a OneDrive di Microsoft o a Google Drive, in cui uno smart contract crea blocchi con i dati dei file suddiviso in essi, criptando ognuno dei blocchi per garantire la privacy e infine distribuire l'intero file nella blockchain;

Le dApps costituiscono una delle ragioni principali della realizzazione di Ethereum, da cui ereditano la peculiarità della struttura decentralizzata, non compromettibili quindi dalla mancata esecuzione da parte di singoli computer, poiché queste vengono ospitate da tutti gli altri utenti della rete che fungono da nodi. Inoltre, un altro grande vantaggio delle applicazioni decentralizzate è riscontrabile nella loro immutabilità, garantita dalla blockchain, che fa sì che i dati immessi all'interno di questa permangano in maniera immutabile e non modificabile da nessuno, nemmeno dai programmatori delle relative applicazioni. Questo paradigma è robusto ed affidabile alla radice, poiché il codice

decentralizzato della blockchain, su cui si poggiano tutte le strutture successive, è immutabile. Infine, il potenziale delle dApps risiede nella capacità di poter modificare modelli organizzativi di varie tipologie di business in virtù dei grandi vantaggi in termini di sicurezza e affidabilità che il loro impiego comporterebbe.

1.11 Dalla blockchain Ethereum alla Blockchain as a Service

Riassumendo quanto prima descritto Ethereum è definibile come un distributed ledger open source, quindi aperto a tutti, che si appoggia su blockchain.

A differenza della catena di blocchi sottostante bitcoin, Ethereum prevede la possibilità per gli sviluppatori di creare applicazioni blockchain di ogni funzionalità eseguibili in un ambiente senza fiducia, sfruttando l'alta disponibilità della potenza computazionale della rete Ethereum. Tutto ciò offre la possibilità di riorganizzare un sistema, finanziario e no, globale, in cui una connessione Internet è tutto ciò che serve per accedere ad applicazioni, prodotti e servizi che operano in modo sicuro. Chiunque può interagire con la rete e partecipare a questa economia digitale, senza la necessità di terzi e senza il rischio di censura.

Un esempio adeguato a dare una panoramica generale delle potenzialità dell'implementazione di questa tecnologia viene fornito da Arshdeep Bahga e Vijay K. Madiseti, del Georgia Institute of Technology di Atlanta, i quali propongono una piattaforma blockchain per l'Internet of Things a livello industriale (BPIIoT)¹¹, mostrando come la piattaforma BPIIoT può migliorare la funzionalità delle piattaforme di produzione basata su cloud (Cloud Based Manufacturing), fornendo una rete decentralizzata, affidabile, peer-to-peer per le applicazioni di produzione. CBM è un modello di produzione orientato ai servizi in cui i consumatori di servizi sono in grado di predisporre, selezionare e utilizzare risorse di produzione configurabili. CBM sfrutta i quattro principali modelli di servizi di cloud computing: Infrastructure-as-a-Service (IaaS), Platform-as-a-Service (PaaS), Hardware-as-a-Service (HaaS) e Software-as-a-Service (SaaS). BPIIoT si basa su una rete Blockchain su cui sono distribuiti smart contracts. Come precedentemente descritto questi fungono da accordi tra i consumatori di servizi e le risorse di produzione per fornire su richiesta servizi produttivi. BPIIoT consente l'integrazione di attrezzature per spazi di progettazione in ambiente cloud e consente lo

¹¹ (Bahga & Madiseti, 2016)

sviluppo di applicazioni di produzione decentralizzate e peer-to-peer. La componente chiave abilitante le macchine industriali nella piattaforma BPIIoT è l'abilitazione ai protocolli dell'IoT. Quest'ultimo consente alle macchine esistenti di comunicare con il cloud e con la rete blockchain. L'IoT è una soluzione "plug and play" che consente alle macchine di scambiare dati sulle loro operazioni sul cloud, inviare transazioni agli smart contract associati e ricevere transazioni dagli utenti sulla rete blockchain.

Gli sviluppatori della BPIIoT descrivono alcune applicazioni industriali e di produzione decentralizzate che possono sfruttare la piattaforma proposta:

- **Produzione su richiesta:** la piattaforma BPIIoT consentirà un mercato di servizi di produzione in cui le macchine avranno i propri account Blockchain e saranno in grado di effettuare le proprie forniture e le transazioni direttamente con altre macchine per usufruire dei servizi, in un modello on demand di tipo CBM. BPIIoT può abilitare applicazioni di produzione in rete peer-to-peer dove saranno i peer, costituiti dalle macchine, in grado di avvalersi dei servizi di cui hanno bisogno.
- **Diagnostica intelligente e manutenzione macchine:** la piattaforma BPIIoT può essere utilizzata per lo sviluppo di applicazioni di diagnostica intelligente e self-service per macchine che saranno in grado di monitorare il loro stato, diagnosticare i problemi e in modo autonomo inviare assistenza, rifornimenti di materiali di consumo o richieste di sostituzione di parti ai fornitori di manutenzione della macchina. Gli smart contracts tra produttori e venditori programmati per l'approvvigionamento di forniture può aiutare ad automatizzare l'attività di manutenzione della macchina.
- **Tracciabilità:** la piattaforma BPIIoT può essere utilizzata per lo sviluppo di applicazioni di tracciabilità dei prodotti fabbricati. Gli smart contracts tra consumatori e produttori possono tenere registri di produzione, ad esempio, o di quale fabbrica e quali macchine all'interno della fabbrica sono stati utilizzati per la fabbricazione di un particolare prodotto. In caso di richiami di prodotti (a causa di difetti di fabbricazione o parti difettose) dopo la consegna dei prodotti, le applicazioni di tracciabilità possono aiutare a identificare gli oggetti interessati.
- **Monitoraggio della catena di approvvigionamento:** la piattaforma BPIIoT può essere utilizzata per lo sviluppo della catena di approvvigionamento. Blockchain e Smart Contracts possono tenere un registro formale dei prodotti e tracciarne il passaggio del possesso attraverso

diversi punti di una catena di fornitura. Tali applicazioni possono anche consentire insediamenti finanziari automatizzati alla consegna conferme.

- **Certificazione del prodotto:** la piattaforma BPiIoT può essere utilizzata per lo sviluppo di applicazioni di certificazione del prodotto. Le informazioni di produzione per un prodotto (come i dettagli della struttura di produzione, i dettagli della macchina, la data di produzione e le informazioni sulle parti) possono essere registrate sulla Blockchain. Queste informazioni possono aiutare a dimostrare l'autenticità dei prodotti eliminando la necessità di certificati fisici che possono essere soggetti a manomissione.
- **Transazioni da consumatore a macchina e da macchina a macchina:** BPiIoT può abilitare transazioni da macchina a macchina per i servizi di produzione. Ad esempio, un consumatore può inviare una richiesta per la fabbricazione di un prodotto inviando una transazione a uno smart contract del produttore insieme al pagamento effettuato con una criptovaluta (come gli ether). Il smart contract del produttore può quindi inviare transazioni a smart contract associati a singole macchine (transazioni da consumatore a macchina). Se per la fabbricazione di un prodotto sono necessari servizi di macchine diverse, le macchine possono inviare micro-transazioni ad altre macchine (transazioni machine-to-machine).
- **Tracciamento dell'identità e della reputazione del fornitore:** la piattaforma BPiIoT può essere utilizzata per lo sviluppo di applicazioni per la gestione dell'identità e della reputazione dei fornitori che tengono traccia di vari parametri prestazionali (come tempi di consegna, recensioni dei clienti e valutazioni) per i venditori. Tali applicazioni possono essere utilizzate dai consumatori per trovare i venditori che possono soddisfare i loro requisiti di produzione, e dai produttori per la ricerca di fornitori di materiali di consumo. Gli smart contract possono anche aiutare a negoziare automaticamente i migliori prezzi per materiali di consumo e forniture in tempo reale in base alla reputazione del venditore.

2. Introduzione Apio S.r.l. e progetti blockchain based

Apio S.r.l. è una azienda di sviluppo software che opera nel settore dei servizi e consulenza IT, particolarmente focalizzata nella realizzazione di soluzioni tecnologiche all'avanguardia. Nata come una startup fondata nel 2014 da Alessandro Chelli e Lorenzo Di Berardino, è oggi una Venture Builder in grado di proporre prodotti e servizi che permettono ai clienti di connettere e gestire in maniera efficiente e sicura dispositivi e processi in diversi campi di attività, offrendo allo stesso tempo la possibilità di integrare servizi IoT senza che il committente debba implementare complesse infrastrutture tecnologiche.

Durante il suo percorso Apio S.r.l. ha efficacemente organizzato la sua offerta, passando dallo sviluppo software su commissione alla gestione di progetti con importanti partner, diventando una realtà di rilievo in diversi settori, dall' agricoltura alla gestione delle reti energetiche.

Ciò che caratterizza Apio S.r.l. però è l'impiego, tra le altre tecnologie all' avanguardia, della blockchain come protocollo informatico deputato alla trasmissione dei dati non esclusivamente a scopo transazionale, scenario in cui invece la blockchain nasce e si afferma. Le peculiarità di questa tecnologia, infatti, ben si applicano a scenari dove la trasmissione dei dati deve rimanere sicura, efficiente e non manomettibile, garantendo una trasparenza non opinabile durante fasi o processi di produzione, gestione e vendita di prodotti o servizi.

2.1 Trusty

Un primo esempio di servizio sviluppato con queste caratteristiche è Trusty, progetto operativo dalla fine del 2020, che ha permesso di aprire una nuova frontiera nell' interazione della filiera agroalimentare. Realizzata in collaborazione con VarGroup, è una piattaforma che permette la consultazione della provenienza e della qualità del prodotto, garantite dall' immutabilità della blockchain, tramite la scansione di un QR code che reindirizza, tramite smartphone, alla verifica di tutti i passaggi che un alimento attraversa, da quando viene prodotto a quando viene consumato.

In Italia il valore del mercato agroalimentare è di 133 miliardi di euro e coinvolge 1,3 milioni di imprese, dall' agricoltura alla ristorazione e considerando che la tendenza a livello mondiale è quella di rendere il comparto più "smart", Apio S.r.l. offre tramite Trusty una nuova possibilità per le aziende del settore di creare interazione con il consumatore tramite nuove modalità: se infatti da una parte ci sia la tendenza a considerare l'impiego della blockchain esclusivamente come fattore sostitutivo del sistema classico delle certificazioni, lo scopo per cui una azienda agroalimentare ha convenienza ad applicare una soluzione del genere risiede principalmente nella creazione di una nuova modalità di condivisione di informazioni, che ne permette l' ampliamento della portata al grande pubblico attraverso un canale sicuro. Il risultato che dovrebbe derivarne è un approccio consapevole al consumo alimentare, sempre più soggetto a standard etici e di sostenibilità, in cui il circolo che dovrebbe instaurarsi tra produttori virtuosi e consumatori attenti si trasforma in un vantaggio competitivo per le aziende.

Di seguito vengono elencate alcune aziende del settore agroalimentare che hanno preso parte al progetto:

1. **ELLEBÌ (Napoli)**: Questa azienda utilizza Trusty per tracciare la filiera del riso, garantendo così un prodotto completamente Made in Italy. L'uso di Trusty permette a ELLEBÌ di condividere con i consumatori informazioni dettagliate sulla provenienza del riso, aumentando la fiducia nel prodotto.
2. **Caffè Ginevra (Bari)**: Questa azienda di caffè ha implementato Trusty per tracciare la provenienza del caffè. Questo permette ai consumatori di sapere esattamente da dove proviene il caffè che stanno bevendo, aumentando la trasparenza e la fiducia nel prodotto.

3. **La Campofilone (Fermo):** Questa azienda produttrice di pasta all'uovo ha implementato Trusty per tracciare la filiera della pasta. Questo permette ai consumatori di sapere esattamente da dove provengono gli ingredienti utilizzati per fare la pasta, aumentando la trasparenza e la fiducia nel prodotto.
4. **Mancini Pastificio Agricolo (Fermo):** Questa azienda produce pasta solo con il grano che coltiva direttamente nei campi che la circondano. L'adozione di Trusty testimonia l'apertura dell'azienda alle novità tecnologiche e permette di condividere con i consumatori informazioni dettagliate sulla provenienza del grano utilizzato per la pasta.

Per quanto riguarda lo sviluppo di Trusty come soluzione su misura per il cliente, Apio S.r.l. mette a disposizione una serie di software complementari alla corretta gestione dei vari passaggi della filiera:

- **Trusty-Engage** è la piattaforma pensata per condividere dati con i consumatori e con tutti gli attori della filiera in maniera rapida e veloce, permettendo la creazione e la gestione dei profili aziendali, degli stabilimenti produttivi e delle schede di prodotto attraverso il rilascio automatico dei Qr-Code relativi ai rispettivi prodotti e lotti. Da parte del cliente è così possibile visualizzare in maniera intuitiva i contenuti multimediali dei prodotti come certificazioni, etichettature ambientali, valori nutrizionali e allergeni. Il tutto viene messo a disposizione del consumatore finale con la possibilità di avere una traduzione multilingua, non essendo quindi più vincolati al solo mercato nazionale.

- **Trusty-Trace** è la piattaforma che consente la gestione e la condivisione dei dati con gli attori della filiera, garantendo l'autenticità e la paternità delle informazioni, implementando le funzioni di tracciamento di lotti e prodotti, la creazione e l'organizzazione di tabelle per gli eventi di tracciabilità di questi ultimi tramite pagine dedicate al monitoraggio e alla convalida delle autenticazioni degli attori sulla blockchain.

- **Trusty-Collect** è la piattaforma pensata per raccogliere dati dal campo in maniera rapida e veloce, impiega form per la raccolta dati ed è integrabile con sistemi di tracciabilità terzi mantenendo la possibilità di visualizzare dati e creare report in maniera personalizzata.

- **Trusty-Integrate** è infine deputata a sistema per accelerare lo scambio di informazioni e l'automazione dei processi di condivisione e verificabilità delle informazioni. Permette il caricamento dei dati della filiera in modo automatico utilizzando REST-API, o con possibilità di caricamento manuale attraverso applicazioni dedicate, e l'importazione di dati integrandosi con i principali

software e sistemi Industriali (MES / ERP / Industria 4.0) per evitare rallentamenti nel processo produttivo¹².

Nell'approccio generale all'impiego di questa tecnologia si crea una marca temporale (notarizzazione) delle informazioni legate a un lotto sulla Blockchain. Il processo di notarizzazione, in questo caso, parte dalla generazione di un file PDF che contiene tutte le informazioni di tracciabilità dichiarate per ciascun lotto. Il PDF viene notarizzato attraverso un protocollo open source chiamato OpenTimestamp. Il protocollo permette di associare al documento la data e l'ora di una transazione e lo fa aggregando l'identificativo univoco associato al documento (hash) con altre migliaia di documenti. Il metodo utilizzato si basa su un processo informatico detto merkle-tree che, sulla base di una serie di informazioni contenute in un file (.ots), permette di ricostruire in modo univoco la presenza del documento all'interno della transazione. Un approccio di questo tipo consente di democratizzare l'accesso alla tecnologia Blockchain affrontando inizialmente le sfide e le complessità legate alla digitalizzazione nel settore agroalimentare e, in seguito, una volta concluso l'onboarding, di approfondire nuovi approcci con Smart Contract e Identity¹³.

La scelta e l'utilizzo del protocollo OpenTimestamp precedentemente citato consente di ridurre l'impronta ambientale energetica della piattaforma Trusty: il suo funzionamento assicura che il documento PDF, una volta trasformato in hash si aggrega insieme ad altre prove, la transazione è pronta per essere notarizzata nella Blockchain solo quando il protocollo OpenTimestamp raggiunge una determinata quota di prove (tipicamente 50.000). Questo approccio di aggregazione consente di mantenere basso il consumo energetico per ogni singola notarizzazione: considerando che il consumo di una transazione Bitcoin oggi è pari a 1570 kWh¹⁴, emerge che per ogni singola notarizzazione del PDF vengano consumati circa 0,0314 kWh e quindi 0,0149 kg di CO2.

Da considerare che, per quanto ridotta con l'utilizzo di questo approccio light, l'implementazione della tecnologia blockchain ha un impatto ambientale non trascurabile. Non potendo annullare gli effetti ambientali negativi Trusty cerca di impegnarsi il più possibile per l'ambiente compensando l'impatto di queste transizioni attraverso la semina di alberi con **Treedom**. Attraverso Treedom, dopo aver valutato le emissioni di anidride carbonica prodotte dalle notarizzazioni, vengono calcolati

¹² (Apio S.r.l., s.d.)

¹³ (Apio S.r.l., s.d.)

¹⁴ (Digiconomist, s.d.)

quanti alberi piantare in modo da rendere l'utilizzo della piattaforma a impatto zero per l'ambiente e per i clienti.

Attualmente, quindi, Trusty risulta essere una soluzione all'avanguardia nel settore agroalimentare del nostro Paese, che ha il potenziale per rivoluzionare le modalità con cui aziende e consumatori interagiscono e condividono dati, potendo contare su uno strumento in grado di migliorare tracciabilità e trasparenza dei prodotti, incrementando la fiducia dei consumatori nei beni acquistati.

2.2 Focus settore energetico

Uno dei settori in cui Apio S.r.l. sta operando, grazie al suo approccio all' avanguardia, è quello energetico. Anche qui infatti la blockchain ha il potenziale per cambiare profondamente il comparto dell'energia impostando nuovi standard di produzione, distribuzione e consumo energetico. La struttura di questa tecnologia ben si presta alla creazione di mercati energetici decentralizzati, in cui viene superato il paradigma attuale di produzione, distribuzione e consumo per fare posto a un nuovo approccio, più efficiente e sostenibile.

Da questo momento l'attenzione verrà focalizzata proprio sugli impieghi e gli sviluppi dei progetti energetici di Apio S.r.l. che integrano la blockchain, osservando come questi possano rappresentare un primo passo per la creazione di un futuro energetico inclusivo e sostenibile.

Per poter analizzare l'attuale funzionamento del mercato dell'energia e i suoi prossimi sviluppi è necessario ripercorrere brevemente la storia e lo sviluppo dell'infrastruttura elettrica in Italia e le attività complementari al suo corretto funzionamento. L'evoluzione del sistema elettrico nazionale e dei suoi progressi è correlato in maniera diretta ai periodi storici del nostro Paese, poiché l'attuale configurazione è il risultato della congiuntura economico sociale che l'Italia ha attraversato nel corso dell'ultimo secolo.

Nel nostro Paese l'energia elettrica viene prodotta partendo da due tipologie di fonti: quelle non rinnovabili, come i combustibili fossili, di cui fanno parte gas naturale, petrolio e carbone; e quelle rinnovabili, ad oggi impiegate sempre maggiormente.

Non riuscendo a soddisfare l'intero fabbisogno energetico nazionale la restante parte di energia elettrica viene acquistata dall'estero impiegando la rete di trasmissione e distribuzione elettrica.

Se dovessimo dare una breve panoramica dello sviluppo storico di questa industria potremmo evidenziare tre fasi di particolare importanza:

- La nascita di una industria elettrica spinta dal sostegno imprenditoriale nei decenni a cavallo della Prima guerra mondiale.
- Il suo sviluppo collocabile tra il 1930 e il 1950.
- Il riassetto organizzativo avvenuto dopo la nazionalizzazione sancita nel 1962.

Dalla nazionalizzazione agli anni 90

L' Enel (Ente Nazionale Energia Elettrica) nasce nel 1962 come istituzione a capo della nazionalizzazione per la gestione dell'energia elettrica in tutte le sue fasi, e le oltre mille aziende private (compresi i grandi gruppi) sono costretti a vendere allo Stato, eccetto le aziende auto produttrici e quelle municipalizzate.

Fino agli anni Settanta il prezzo favorevole del petrolio ha contribuito ad aumentare la produzione di energia elettrica grazie al potenziamento delle fonti termoelettriche, ma le crisi petrolifere del 1973 e del 1979 spinsero verso la ricerca di nuovi sistemi di produzione energetica. Nel 1975 viene approvato il piano per l'utilizzo dell'energia nucleare con costruzioni di nuovi centrali, oltre all'uso di quelle già esistenti del Garigliano e Trino Vercellese¹⁵.

L'Italia decise però di abbandonare tale piano dopo un referendum che fu proposto all'indomani del grande disastro nucleare di Chernobyl, avvenuto nel 1986.

L'attenzione torna alle energie tradizionali e nel 1992 l'Enel diviene una S.P.A., ed il Ministero del Tesoro è il suo solo azionista.

Nel 1999 il decreto legislativo Bersani rende libero il mercato dell'energia elettrica, e le aziende produttrici si sono orientate verso l'uso del gas naturale al posto del petrolio, in quanto meno oscillante nel prezzo e nelle dinamiche conseguenti alla situazione politica.

Altra risorsa è l'importazione di energia estera, in special modo proveniente da Stati confinanti quali Svizzera e Francia.

Nel nuovo millennio si è focalizzata l'attenzione verso nuove energie rinnovabili, in quanto quelle tradizionali (energia idroelettrica e geotermica) sono ormai non più sfruttabili, è dunque aumentata la produzione energetica da fonte eolica, biomassa e solare. Si deve però considerare che il sistema industriale è basato sull'approvvigionamento da fonti fossili, e la sostituzione massiccia di fonti energetiche non sembra priva di criticità¹⁶.

¹⁵ (Silari, 1989)

¹⁶ (Bevacqua, et al., 2020)

Passaggio al libero mercato

La legge denominata “Concorrenza” del 2015 stabiliva che entro il 2016 tutti gli utenti dovevano passare al libero mercato, ma questa data è stata prorogata varie volte consentendo al cliente di rimanere nel mercato Tutelato, dove le tariffe sono stabilite dall’ ARERA (Autorità Regolazione Energia Reti e Ambiente) anche se il prezzo viene cambiato ogni tre mesi, condizionato dal mercato.

Nel mercato libero invece la tariffa è interamente dal fornitore che può offrire promozioni e servizi. Attualmente abbiamo ancora la coesistenza del mercato libero e di quello tutelato, ed il cliente può ancora scegliere a quale realtà interfacciarsi, ma il 10 gennaio 2024 il Servizio di maggior Tutela smetterà di esistere per l’emendamento del Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza pubblicato il 18 maggio 2023.

Domanda di Energia Elettrica

La domanda di energia elettrica deve essere soddisfatta da una produzione che garantisca una copertura simmetrica al fabbisogno richiesto, questo è la caratteristica principale per il funzionamento del sistema elettrico nazionale. La richiesta di energia è variabile nei periodi e nelle fasce orarie, anche se sono stati identificati dei profili statistici in cui abbiamo una maggiore domanda nella fascia mattutina, una minore richiesta nelle ore centrali e un aumento della domanda nella fascia serale, soprattutto nei giorni festivi. Il sistema elettrico deve assorbire e soddisfare qualsiasi range di valori venga richiesto a seconda delle situazioni e dei periodi. Storicamente il record del fabbisogno italiano ha segnato il suo massimo nel 2015 con 60,5 GW su base giornaliera.

La domanda elettrica annuale definisce la richiesta di energia in questo lasso di tempo, storicamente si sono registrati trend di crescita dei consumi fino al 2007 con il picco storico dei 340 TWh, per poi segnare un’inversione della curva fermatasi al valore minimo di 311 TWh nel 2014, condizionato da uno sfavorevole scenario economico attribuito al periodo. Negli ultimi anni la domanda è tornata a registrare un lieve aumento¹⁷.

Vanno considerati i parametri che influenzano la domanda energetica: il primo fattore è correlato alla crescita economica della nazione, che implica un aumento dei consumi elettrici per fronteggiare maggiori livelli produttivi. Il secondo fattore è imputabile al progresso tecnologico che vede una

¹⁷ (Colombatto, 2019)

sempre maggiore elettrificazione, come ad esempio nel settore automotive. L'ultimo fattore prende in considerazione l'efficienza energetica che permette di ridurre la domanda elettrica a parità di consumi. Si sottolinea che l'andamento del PIL ha un andamento strettamente correlato alla domanda elettrica. Il nostro Paese vanta una intensità energetica, definita come il rapporto tra consumi energetici primari e il PIL, inferiore alla media europea, classificandoci come un Paese ad alta efficienza. L' ACEEE (American Council for Energy-Efficient Economy) colloca l'Italia sul podio a livello mondiale per efficienza energetica insieme alla Germania, considerando 36 indicatori e politiche di sostentamento¹⁸.

¹⁸ (Terna S.p.a, 2019)

2.2.1 Il Contesto del Sistema Elettrico Italiano

Se consideriamo gli ultimi venti anni, l'85% circa del fabbisogno energetico è stato soddisfatto dalla produzione nazionale in maniera costante, sono però cambiate le fonti di produzione energetica, il restante 15% viene importato principalmente da Francia e Svizzera grazie ad una maggiore interconnessione. Inoltre, il costo dell'energia nei paesi del nord Europa è minore (in Francia il 70% della produzione elettrica deriva dal nucleare).

Le modalità di produzione dell'energia sono variate nel corso del nuovo millennio: nel 2005 il 16% era prodotto da fonti rinnovabili (soprattutto idroelettriche), la tendenza ha continuato ad aumentare fino ad arrivare al 40% di quota FER (Fonti Energia Rinnovabile) raggiungendo 113 TWh su un totale di 280 TWh nel 2018.

Di contro la produzione elettrica da fonti non rinnovabili è passata dall'84% del 2005 al 60% del 2018. L'aumento della produzione rinnovabile è dovuto soprattutto all'incremento di impianti eolici e fotovoltaici. La percentuale annua del 35% di copertura da energia FER nel 2018 ha avuto picchi giornalieri con percentuali molto maggiori. Il valore più alto si è avuto il primo aprile (giorno di Pasqua) con una copertura di energia FER dell'82% rispetto alla richiesta elettrica.

Il parco di produzione è molto variato negli ultimi anni. Nel dettaglio è aumentata la capacità installata eolica e fotovoltaica raggiungendo i 30 GW, mentre degli impianti tradizionali sono stati dismessi, questa crescita è stata favorita ed incentivata dalla situazione politica operante tra gli anni 2008 e 2013. Il trend in crescita relativo alla produzione di energia elettrica da impianti termoelettrici è stato in aumento fino al 2012 con 77GW di potenza installata, dal 2013 in poi si è avuta una sostanziale riduzione (60 GW nel 2018), dopo numerose chiusure di impianti sia a causa di una riduzione della domanda per la crisi economica, sia per la crescita del parco rinnovabile¹⁹.

¹⁹ (Mezzacapo, 2018)

Impianti Fonti Rinnovabili Non Programmabili

Gli impianti eolici e fotovoltaici producono energia in presenza di vento e sole, non in base alla domanda, ecco perché tali impianti, insieme a quelli idroelettrici sono chiamati a fonte rinnovabile non programmabile. L'andamento dei valori annuali mostra che il picco di produzione di tali impianti sia nelle ore centrali della giornata, in particolare di quello fotovoltaico.

Essendo l'energia prodotta proveniente da una fonte rinnovabile non programmabile, può succedere che in un lasso di tempo non riesca a soddisfare la domanda. Questa grandezza viene definita carico residuo (o residual load) e deve essere coperta dalla produzione di impianti programmabili.

Suddivisione in Zone di Mercato

La società Terna è proprietaria della rete di trasmissione nazionale con 75000Km di linee e 870 stazioni elettriche, con centrali termoelettriche ed idroelettriche. Si hanno reti a tensione 380 KV E 220 KV dette ad altissima tensione (AAT) per grandi distanze e grandi quantità di energia. La trasmissione capillare è affidata ai voltaggi di 150 KV, 32KV e 60 KV (linee AT).

La conformazione geografica dell'Italia condiziona la struttura della rete di trasmissione. Ad esempio, le connessioni con l'estero sono collocate alla frontiera nord, mentre nel territorio nazionale abbiamo zone più difficilmente servite che creano difficoltà nella gestione dei flussi di energia, chiamate "Colli di bottiglia". Le zone con limitata capacità di trasporto della rete hanno dei vincoli che condizionano le offerte per i mercati dell'energia. Non ci sono vincoli invece all'interno di ogni zona di mercato. Le zone di mercato hanno subito dei cambiamenti per adattarsi alle nuove situazioni ed esigenze. Abbiamo 6 zone di mercato nel Sistema Elettrico italiano: Nord, Centro-Nord, Centro-Sud, Sud, Sicilia, Sardegna. Gli elementi della rete, di produzione e di carico, condizionano la capacità di scambio tra le zone, e Terna cerca di individuare e risolvere le problematiche con una pianificazione che diminuisca la congestione tra le zone di mercato e per sfruttare al meglio la produzione interna di energia verso un'ottica di maggior competitività.

Sviluppo Fer e Decentralizzazione

La distribuzione e sviluppo di FER non è uniforme in Italia, attuandosi solo in zone con condizioni geografiche, climatiche e gestionali favorevoli, sganciati dagli immediati luoghi di consumo. L'80% degli impianti eolici sono al Sud e nelle isole, mentre il 40% del fotovoltaico è al Nord. Anche i livelli di tensione sono differenti, in quanto l'eolico viaggia su reti AT mentre il fotovoltaico su quelle a media e bassa tensione (MT-BT).

Stiamo assistendo ad un grande cambiamento nella generazione dell'energia e si sta passando da un sistema basato su pochi grandi impianti termoelettrici a un sistema decentrato e più complesso. Per quantificare questo cambiamento si pensi che si è passati dai tremila impianti circa agli inizi del 2000 agli oltre ottocentomila attuali. Quasi tutti gli impianti sono installati su reti a media e bassa tensione chiamate la Generazione Distribuita (GD). Sono gli impianti fotovoltaici ad offrire il 65% della potenza della GD con 822000 su 837000 impianti sulla GD. Il panorama della produzione solare è estremamente frammentato, con tanti impianti di piccole dimensioni, il peso della GD è aumentato anche nella produzione dell'energia elettrica, coprendo nel 2017 il 22% della produzione lorda nazionale ed il 65% sulla GD.

Il Sistema Elettrico si avvantaggerà in maniera crescente della GD, anche considerando il progetto del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) che pianifica un grande sviluppo degli impianti FER su reti a media e bassa tensione. Anche l'autoconsumo di energia elettrica sta crescendo in importanza, fino ad arrivare al 10% del consumo elettrico finale nel 2018. Viene incentivato in maniera implicita con l'esenzione del pagamento degli oneri di sistema²⁰.

²⁰ (Miller & Senadeera , 2017)

Struttura Rete Elettrica e Sistema Regolatorio Qualità Fornitura

La filiera elettrica è determinata da 4 fasi: produzione, trasmissione, distribuzione e vendita.

Fonti fossili o rinnovabili permettono la produzione di energia elettrica. Tale produzione non è immagazzinabile se non a costi economicamente svantaggiosi, e deve dunque essere regolata in sintonia con il consumo, per evitare sprechi. La capacità produttiva è decisamente superiore al nord, sebbene sia in atto negli ultimi decenni una politica di incentivazione e potenziamento di impianti da fonte rinnovabile al sud. Tale svantaggio si è ridotto, ma persiste ancora, anche a causa di dinamiche che cercheremo di inquadrare. Grazie al sopracitato potenziamento la produzione del mezzogiorno è superiore a quella del centro, ma è l'unica macroarea che produca più di quanto consumi. Questo per il minor numero di utenze presenti ed anche alla minor domanda del carico industriale dovuta alla diversa configurazione economica. In sintesi, siamo in presenza di una minor produzione e una minore domanda. Questo ha comportato un diverso sviluppo della struttura della rete, essendo maggiore dove maggiore è la concentrazione industriale, dovendo rispondere alle richieste locali con l'approntamento di strutture adeguate. Anche i lavori di modernizzazione e ramificazione e la capacità di carico sono collegate al maggior uso, diventando caratteristiche che permettono una maggior qualità della fornitura.

Terna ha il monopolio della trasmissione che avviene in AAT dalle centrali di produzione alle cabine primarie di smistamento, assistita dal dispacciamento per la gestione e il riequilibrio dei flussi dell'energia sulla rete di trasmissione nazionale (RTN). La fase successiva è quella della distribuzione dalle cabine primarie a quelle secondarie, l'elettricità passa da MT (media Tensione) dove viene trasformata in BT (bassa tensione), a questo punto l'energia elettrica viene consegnata alle utenze finali tramite concessionari esclusivi di zona. Il concessionario distributore deve connettere alla rete chiunque ne faccia richiesta, anche installando nuovi impianti se necessario.

Le maggiori aziende industriali e del terziario sono connesse alla rete in MT, mentre solo quattrocento imprese ad alto consumo del centro nord sono collegate direttamente in AAT-AT. Sulla rete BT abbiamo le aziende che necessitano di minor carico, come la piccola industria e le utenze domestiche, sono quindi le società commerciali che esercitano il servizio di vendita a consegnare l'energia.

2.2.1 Il Sistema Elettrico Nazionale

L' Enel nasce nel 1962, diventando in monopolio l'ente nazionale per la produzione e l'erogazione dell'energia elettrica, non inglobando però le aziende municipalizzate attive, quasi tutte del centro nord e le imprese elettriche delle isole minori. Negli anni 90 viene avviata la liberalizzazione del mercato elettrico con la direttiva europea 96/92/ CE, concretizzandosi nel territorio italiano con il Decreto Bersani del 1999 n.79 come menzionato precedentemente.

Questo disponeva la separazione delle società che si occupavano delle quattro fasi della filiera (Unbundling) e istituiva una società di controllo (ARERA) per regolare la fornitura senza tralasciare la qualità e l'uniformizzazione per tutto il territorio nazionale. Dalla separazione delle società nacque Terna e la E-Distribuzione, società del gruppo Enel che si occupa appunto di distribuzione. Approfondendo il meccanismo della distribuzione, nel decreto si precisa che si può avere una sola concessione per ambito comunale, però con la possibilità di ingrandimento per le aziende elettriche municipalizzate attive: sia con la possibilità di associarsi con i comuni vicini, sia con quella di chiedere a E-Distribuzione dei rami di azienda che operano nel territorio comunale.

Queste opzioni furono esercitate ed E-Distribuzione dovette cedere tratti di rete distributiva, mentre nel Mezzogiorno dove le aziende elettriche municipalizzate sono assenti, E-Distribuzione serve la totalità degli utenti. Nel dettaglio dal 2000 il Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato lasciò una concessione trentennale alle imprese che già operavano nell'azienda municipalizzata di ogni ambito comunale, senza possibilità di ingresso di nuove imprese fino al 2030.

2.2.2 Geco – Green Energy Community. Comunità Energetiche in Italia

È evidente la necessità di un cambiamento nell'uso dell'energia, di un nuovo modello che sia basato su produzione e consumo di energia da fonti rinnovabili. È necessario, dunque, un cambiamento di mentalità che cerchi il risparmio, l'efficienza e lo scambio collaborativo. A questo si affiancano le nuove tecnologie digitali, che possono rendere possibile una nuova green economy. Roland Barthes provoca i suoi allievi in Francia già nel 1977 sfidandoli sulla riflessione di un nuovo modo di vivere insieme, riconoscersi in una comunità verso un'etica di coabitazione pacifica con gli uomini e l'ambiente.

Il sistema di produzione di energia derivante dal passato ha generato instabilità, disegualianze e danni ambientali, conseguenza della mentalità "massimo profitto a qualsiasi costo". Molte persone si stanno unendo per cambiare la logica della produzione energetica verso una società più giusta e pulita. Si prevede che 264 milioni di europei entreranno nel mercato dell'energia come prosumer (produttori consumatori) arrivando a generare il 45% dell'elettricità rinnovabile totale. Il prosumer possiede un proprio impianto di produzione di energia e ne consuma una parte, il resto può essere scambiato o restituito con evidenti benefici economici²¹.

Questa modalità innovativa trova attuazione dentro una comunità energetica (CE), vale a dire un gruppo di utenti che scelgono di aderire ad un contratto e collaborano nella produzione, nel consumo e nella gestione dell'energia prodotta da un impianto locale. L'obiettivo è fornire energia rinnovabile a prezzi accessibili agli aderenti, invece di cercare il profitto economico come le società energetiche tradizionali. Il concetto di fondo è quello che si sta applicando anche in altri settori dell'organizzazione sociale, e cioè il decentramento e la localizzazione, in un'ottica di ottimizzare i diversi elementi territoriali per produrre, consumare e scambiare energia in autoconsumo e collaborazione, favorendo l'efficienza energetica e promuovendo lo sviluppo delle fonti rinnovabili. Da rimarcare il fatto che ora è possibile l'autoconsumo collettivo in condomini o comunità energetiche locali, e non più solo in forma individuale. La generazione distribuita è in aumento soprattutto grazie al fotovoltaico in quartieri e distretti, ma l'offerta deve essere abbinata alla domanda. Una soluzione si ha facendo coincidere la propria produzione con la propria domanda. Si configurano dunque diverse tipologie di autoconsumo:

²¹ (Barroco, et al., 2020)

- Individuale: l'utente genera energia rinnovabile e la autoconsuma
- Collettivo: l'energia generata è condivisa tra più utilizzatori
- Comunità energetica: l'insieme di utenti che collaborano per produrre e gestire l'energia rinnovabile

Abbiamo una comunità energetica quando un numero di prosumers si aggrega e e condivide impianti di produzione di energia rinnovabile. La comunità energetica è già divenuta realtà in molti luoghi del mondo, come quella di Rio in Brasile (Grupo Creluz) o quella di New York (B.M.G.). Anche in Europa Abbiamo validi esempi come la Bioenergy Village in Germania, che opera in collaborazione con l'università di Gottingen. Diversi esempi citabili insistono nel Regno Unito come anche nel territorio italiano, soprattutto al nord. Alcune di esse esistono da circa 100 anni, modelli avveniristici di eccellenza, come quello di La Funes in Alto Adige, fondato nel 1921 con tre centrali idroelettriche più due a biomassa, la valle produce il 100% di rinnovabile con avanzo che permette ulteriori sconti in bolletta. Altra realtà è quella della Ewerk Prad, cooperativa di Prato allo Stelvio, con 17 impianti rinnovabili a fonte idroelettrica e biomasse. Fu fondata nel 1923 da un gruppo di ragazzi che costruirono una mini-centrale idroelettrica chiedendo l'aiuto di quaranta famiglie che divennero soci. Oggi i soci sono 1350, cioè il totale delle famiglie del paese.

Esistono numerosi altri esempi italiani, tra cui quello di San lazzaro di Savena, a Bologna, iniziato sul tetto di una scuola elementare. I cittadini interessati hanno acquistato quote dell'impianto con le quali si è realizzato un impianto fotovoltaico, poi ceduto al comune²².

²² (Tricarico & Billi, 2021)

2.2.3 La Dimensione Legale: Regolamentazione europea e italiana

La necessità urgente di una transizione energetica ha trovato possibilità di attuazione con l'approvazione di una serie di leggi da parte dell'Unione europea nel 2019, chiamate CEP (Clean Energy Package) che regolano i temi riguardanti l'energia come le prestazioni energetiche negli edifici, l'efficienza energetica, le energie rinnovabili ed il mercato elettrico. Il 2021 è stato il termine fissato per i singoli Stati appartenenti all'Unione Europea per varare le leggi nazionali seguendo tali direttive, che sono otto. Noi ne affronteremo due:

- La direttiva UE 2018/2001 che inquadra l'autoconsumo collettivo e la comunità di energia rinnovabile (CER)
- La direttiva UE 2019/944 sulla comunità energetica dei cittadini (CEC)

Entrando nel particolare della prima direttiva citata l'articolo 21 parla di autoconsumo collettivo nel caso di presenza di un sistema in un edificio che fornisce elettricità a più di un utente ("Uno a molti"). Quando l'autoconsumo collettivo coinvolge più di un unico edificio o condominio, abbiamo la comunità energetica. Questa viene definita soggetto giuridico basato sulla partecipazione aperta e volontaria senza lo scopo principale di profitti finanziari, bensì con lo scopo di miglioramenti ambientali, sociali ed economici. Per questo non possono partecipare le aziende del settore energetico come membri, possono però interagire fornendo servizi. La differenza fra CER e CEC si sostanziano nel fatto che la CER è costituita da membri autonomi e deve avere vicino gli impianti di generazione. Può anche gestire diverse forme di energia (elettricità, calore e gas) sempre però derivate da fonte rinnovabile. La CEC non prevede l'autonomia e l'impianto in prossimità e può gestire solo l'elettricità derivante sia da fonte rinnovabile che fossile. Sarà importante, inoltre, la possibilità di aggregazione delle comunità energetiche, per coordinare produzione e domanda e per accedere al mercato dell'energia all'ingrosso.

REGOLAMENTAZIONE ITALIANA: Decreto Milleproroghe art. 42-bis

Nell'attesa di una legge nazionale completa per il recepimento delle Direttive Ue, abbiamo comunque una forma di regolamentazione nell'articolo 42-bis del Decreto Milleproroghe, divenuto legge 8/2020 nel febbraio 2020, riguardante l'autoconsumo collettivo e le comunità energetiche rinnovabili. Anche il PNIEC (Piano Nazionale Integrato Energia e Clima) guida obiettivi ed investimenti

verso l'attuazione delle Direttive. Secondo il Decreto milleproroghe l'autoconsumo collettivo si ha in presenza di uno o più impianti a fonte rinnovabile all'interno di un edificio e una pluralità di utenti ubicati all'interno dell'edificio stesso. Gli impianti possono essere di proprietà di soggetti terzi ed avere detrazioni fiscali. Per quanto riguarda le comunità energetiche i soggetti partecipanti producono energia per il proprio consumo da fonti rinnovabili, ma la potenza complessiva non deve essere superiore a 200 Kw. Si possono usare reti di distribuzione già esistenti, viene usata la rete elettrica di bassa tensione, sotto la stessa cabina di trasformazione da media a bassa tensione. L'utente mantiene il suo diritto di cliente finale, come quello di scegliere il fornitore e uscire dalla comunità. Possono partecipare tutti gli utenti sotto la stessa cabina elettrica, anche le famiglie socialmente svantaggiate. Per promuovere la coincidenza tra produzione e consumo è stata stabilita una tariffa di incentivo per remunerare l'energia autoconsumata istantaneamente, condizione necessaria è il possedere un impianto installato dopo il primo marzo 2020. L'adempimento agli obblighi condominiali è uno dei criteri obiettivi per l'accesso alla comunità.

ECOBONUS 2020-SUPERBONUS 110

Il Decreto-legge 34/ 2020, incluso nel decreto rilancio, che promuove la ripresa dopo il Covid prevede nell'articolo 119 l'ecobonus 2020 per migliorare l'efficienza energetica e le misure antisismiche con un aiuto pari al 110% delle spese sostenute inizialmente previste solo per il periodo 1/07/20 fino al 31/12/21, poi prorogato. Per accedere all'Ecobonus 110% si deve realizzare almeno uno dei seguenti interventi principali che portino l'edificio a migliorare almeno due livelli di classi energetiche. In caso di impossibilità, almeno conseguire un livello di miglioramento di classe energetica, da dimostrare con certificazione. Sono considerati interventi principali:

- Isolamento termico delle superfici opache (l'involucro dell'edificio) con più del 25% della superficie disperdente lorda.
- Parti comuni degli edifici come gli impianti di climatizzazione invernale esistenti sostituiti con impianti centralizzati almeno pari alla classe A o sostituzione di riscaldamenti autonomi con pompe di calore ad alta efficienza
- Riqualficazione antisismica: queste misure sono applicabili ai condomini e alle persone fisiche.

Se verrà eseguito almeno uno degli interventi sopra citati con un avanzamento di due classi energetiche dell'immobile, si potrà anche accedere agli interventi aggiuntivi con detrazione del 110% che permetteranno l'installazione di:

- Impianti fotovoltaici (fino a 20 kWp con un massimo di spesa di 48000 euro)
- Sistemi di accumulo relativo ad impianti fotovoltaici fino a 48000 euro
- Colonnine di ricarica per veicoli elettrici

Le nuove tecnologie sono di grande importanza per il cambiamento verso il risparmio e il consumo più intelligente ed efficiente. Abbiamo tecnologie legate all'accumulo e dispositivi tecnologici intelligenti in grado di ottimizzare le efficienze domestiche, i quali verranno approfonditi a livello tecnico successivamente.

3. Analisi della blockchain come tecnologia abilitante per la transizione a sistemi energetici decentralizzati

Cittadini e associazioni varie, come anche imprenditori, possono autogestirsi energeticamente mediante forme innovative di governance in cui condividono principi e responsabilità: solitamente la governance delle nuove comunità energetiche nasce sulla possibilità di fare leva sulle istituzioni locali per intraprendere soluzioni sostenibili che permettano di creare un network non gerarchico di nuova concezione socio-energetica. Nella fase iniziale si sperimenta una nuova tecnologia per il risparmio energetico che si può ampliare a condomini e quartieri. In futuro questo approccio produttivo e di consumo può portare alla costituzione di enti collettivi, come cooperative o associazioni di organizzazioni già presenti verso la fondazione di una comunità energetica.

Le nuove politiche di sostenibilità nazionali ed europee indirizzano verso l'evoluzione del cittadino in "prosumer": parte di una comunità che diventa risorsa interna collettiva. I quadri europei di indirizzo alle nazioni sono delineati nel "Green New Deal" e l'"Agenda 2030"; il GND diviene legge vincolante per tutti i paesi UE e prevede che entro il 2030 le emissioni dannose dovranno essere ridotte del 40%, fino alla Carbon Neutrality nel 2050; vengono inoltre affrontate le necessità del cambiamento per la transizione energetica, la trasformazione del tessuto produttivo verso l'economia circolare, mobilità smart e sostenibile, protezione dell'agricoltura e biodiversità. Nell'Agenda 2030 abbiamo 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, anche riferiti alle comunità energetiche, come l'Obiettivo 7, che afferma di dover assicurare a tutti l'accesso ai nuovi sistemi di energia, o l'Obiettivo 11, che si focalizza sulla necessità di rendere le città inclusive, sicure e sostenibili, in modo da migliorare l'ambiente e la qualità della convivenza umana. Viene quindi introdotta la "European Label of Governance Excellence" (ELoGE), che ha definito 12 indicatori di riferimento valevoli per tutte le governance, quindi anche per quelle energetiche.

Possiamo riassumere tali principi nella necessità di partecipazione, correttezza e rispetto verso l'ambiente e l'altro. È questo un tentativo di rivoluzione positiva che implica un cambiamento di mentalità e di azione per il bene di tutti e non più per il solo profitto individuale, lesivo del prossimo e dell'ambiente. La condivisione è alla base dell'economia circolare, anche conosciuta come sharing economy, che elimina gli sprechi ed i rifiuti a favore dell'ambiente.

Si costruisce collegando individui, organizzazioni o comunità che offrono prodotti e/o servizi in scambio, collaborazione e commercio. Questo può applicarsi anche alle comunità energetiche che possono ugualmente scambiare beni e servizi tra i membri associati: il principio alla base della sharing economy non è più quello della proprietà, quanto quello di accesso al bene, e la funzione che esso svolge. Il bene può dunque essere condiviso in diversi modi:

- Può restare in possesso del proprietario ed essere offerto a noleggio, o come offerta di servizio, come il “Car pooling”, condivisione di auto privata per tratte brevi. Invece il “Ride Sharing” è la condivisione di un viaggio, con l’aiuto di una piattaforma digitale che mette in contatto gli interessati.
- Il bene può essere di proprietà di parte terza rispetto agli utilizzatori, ad esempio il “Car Sharing”, servizio di autonoleggio con il parco macchine di proprietà di una organizzazione o di enti pubblici.
- Il bene può cambiare proprietà come nel caso della vendita nei mercatini di seconda mano, dove gli oggetti vengono redistribuiti.

L’utilizzo è definito sincrono quando avviene nello stesso momento, oppure differito quando avviene in tempi diversi. Il valore può essere determinato dal denaro oppure da monete complementari. Si evince dunque che lo scambio permette il concetto di proprietà e di transazione finanziaria, però l’accesso al bene o al servizio è prioritario rispetto al suo possesso. Uno dei principali fattori che permette le dinamiche di scambio sono le piattaforme di aggregazione, che collegano i fornitori con gli utenti e permettono le transazioni: possono essere create sia da enti e società che da utenti, a scopo di lucro o meno, in ogni caso si accorcia la filiera degli intermediari e si coordina meglio domanda e offerta.

La crisi che stiamo affrontando a livello globale è un monito per una rinascita sostenibile, la transizione energetica è una necessità da risolvere attraverso nuovi modelli di produzione e di abitudini ecosostenibili. Si intravede la nascita di un nuovo sistema socio-energetico basato sulla produzione da fonti rinnovabili con impianti locali. La produzione locale diviene centrale per una rivoluzione verde, che offre risposte alla crisi climatica e alla disegualianza economica e sociale. La comunità energetica potrebbe permettere la convivenza tra gli uomini e l’ambiente.

La decentralizzazione delle reti elettriche è la nuova sfida che rende gli utenti partecipanti attivi e permette di avere energia da reti multiple e localizzate. Questo richiede nuove soluzioni di decentralizzazione supportate dalla partecipazione attiva del prosumer con le proprie risorse. Con i mercati flessibili di energia locale si hanno benefici nel monitoraggio dei flussi di energia, si rende possibile l'incentivazione dell'ottimizzazione tra la domanda e l'offerta di energia, come anche supportare la rete di distribuzione nella gestione dei problemi della rete a livello locale e l'ottimizzazione dei flussi elettrici. Si propone dunque una soluzione completamente basata sulla blockchain per lo sviluppo del mercato e la gestione sicura dei dati di rete, in cui tutte le fasi poggiano su questa tecnologia, come la circolazione di azioni del mercato, certificazioni, misurazioni ed incentivi. Inoltre, è compreso in questo sistema lo strumento Light Node, che può validare ed emettere documenti e misurazioni in maniera sicura. Tutto questo è stato sperimentato e testato a Roma nell'ambito del progetto Platone H2020.

Gli operatori delle infrastrutture di distribuzione (DSO) diventano attori principali come anche gli utenti, che prima erano solo figure periferiche. Questi ultimi contribuiscono a creare valore al sistema dell'energia sia con le risorse di generazione che di accumulo. La rete passa da sistema di carico a quello di produzione da fonti di energia rinnovabili (ERS).

Digitalizzare tutti i processi di una rete smart richiede altissimi livelli di competenza tecnologica che possano accompagnare e favorire l'innovazione. Le tradizionali modalità centralizzate dimostrano forte difficoltà e limiti nel gestire reti intelligenti, sia nella gestione e nello scambio energetico, come anche nella sicurezza e privacy, e ancora nella gestione delle micro grid e dei veicoli elettrici. Negli ultimi anni la tecnologia blockchain è stata individuata come un mezzo perfetto per superare i limiti dei servizi e prodotti tradizionali in molti settori. Questo grazie all'assenza di terze parti e all'immutabilità della registrazione dati nei registri decentralizzati e la possibilità di utilizzare gli smart contract. La blockchain, combinata con dispositivi IoT, permette ai consumatori maggior controllo ed efficienza sulle loro fonti di energia, con un registro immutabile e sempre aggiornato dei dati di consumo energetico. Wood Mackenzie afferma che il 59% dei progetti di applicazione della blockchain con l'energia riguardano la facilitazione del commercio dell'elettricità. Ne deriva il collegamento con la criptovaluta, che è stata la prima applicazione della blockchain per il commercio²³. Sono stati identificati otto campi d'uso della blockchain nel settore dell'energia:

²³ (Wood MacKenzie, 2018)

- Misurazione, fatturazione e sicurezza
- Criptovalute, incentivi ed investimenti
- Commercio dell'energia decentralizzata
- Certificazioni verdi e commercio di carbonio
- Gestione della rete
- Gestione risorse e dispositivi intelligenti IoT
- Mobilità elettrica
- Iniziative varie

I cambiamenti riguardano sia aspetti operativi che elementi del mercato. La digitalizzazione ha un ruolo straordinario in questo processo offrendo agli interessati (prosumer) una gestione intelligente, efficiente e sicura dei dati. In sostanza sparisce la distinzione tra il mercato e le operazioni connesse, dove la connessione delle risorse offre l'opportunità di migliorare l'efficacia e ridurre quella instabilità che le risorse rinnovabili possono comportare.

Di seguito vedremo nel dettaglio gli elementi, sia software che hardware, che permettono la costituzione e l'abilitazione di una transizione verso modelli energetici decentralizzati.

Tecnologie hardware e software per la Smart Grid

L'idea di una rete elettrica smart è stata sviluppata come una moderna interpretazione della tradizionale infrastruttura elettrica, per trovare il modo più efficiente di combinare l'energia rinnovabile e le tecnologie di storage di quest'ultima. Tramite questo sistema i Big Data e Internet forniscono una soluzione rivoluzionaria per assicurare che l'energia elettrica sia collegata ad una rete intelligente, anche nota come Energy Internet. La blockchain ha delle caratteristiche importanti che la rendono una tecnologia applicabile agli standard della rete smart per risolvere problemi di sicurezza e di affidabilità. Verranno descritti esempi di applicazione blockchain nelle smart grid con attenzione riguardo la sicurezza informatica e i dati di sistema, evidenziando eventuali problemi relativi agli scenari di queste nuove reti energetiche che i Big Data e la blockchain possono risolvere. L'IoT collega oggetti fisici al mondo digitale, consentendo loro di comunicare tra loro e condividere dati. Questo processo ha trasformato oggetti quotidiani in fonti di informazioni preziose, dando vita a un ecosistema di dati.

Le applicazioni di IoT e dei big data sono estremamente diverse e includono settori come la sicurezza, i trasporti, l'industria, il commercio al dettaglio, la sanità, l'automazione domestica, la difesa, l'agricoltura, la sorveglianza e le infrastrutture intelligenti. In particolare, l'IoT e i big data hanno contribuito in modo significativo agli sviluppi delle smart grid energetiche, con un miglioramento dei contatori smart, che ora presentano capacità di rilevamento più avanzate e una connettività migliorata.

Inoltre, va notato che l'IoT è considerato un'innovazione potente ma anche complessa, poiché solleva questioni importanti legate alla sicurezza, alla privacy e alla gestione di enormi quantità di dati. Tuttavia, ha dimostrato il suo potenziale per migliorare l'efficienza e la comodità nella nostra vita quotidiana, oltre a contribuire a soluzioni avanzate per le sfide del futuro, come l'energia intelligente e sostenibile.

I sistemi intelligenti di generazione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica, così come gli edifici e le case smart, sono tutti controllati e gestiti da dispositivi ICT (Information and Communication Technology) come WAMS (Wide Area Monitoring Systems), IEDS (Intelligent Electronic Devices) e RTUs (Remote Terminal Units) per i sistemi di servizio, oltre a AMI (Advanced Metering Infrastructure) per la gestione degli edifici e delle case nella smart grid²⁴. Nel contesto dei

²⁴ (Aitzhan & Svetinovic, 2018)

sistemi di servizio nell'ambito delle smart grids e della gestione dell'energia, WAMS, IEDS, RTUs e AMI svolgono ruoli fondamentali svolgendo le seguenti funzioni:

Wide Area Monitoring Systems (WAMS): Il WAMS è un sistema di monitoraggio esteso che raccoglie dati in tempo reale da una vasta area all'interno di una rete elettrica. Questi dati includono informazioni come la tensione e la corrente, e aiutano a monitorare e garantire la stabilità della rete elettrica su larga scala.

Intelligent Electronic Devices (IEDS): Gli IEDS sono dispositivi elettronici intelligenti utilizzati nelle reti elettriche per monitorare, controllare e proteggere i componenti critici. Questi dispositivi eseguono funzioni avanzate come la rilevazione delle anomalie e la gestione delle interruzioni di corrente, contribuendo così a mantenere la sicurezza e l'efficienza delle reti elettriche moderne.

Remote Terminal Units (RTUs): Le RTUs sono unità terminali remote che fungono da interfaccia tra il sistema di controllo centrale e i dispositivi distribuiti nella rete elettrica. Raccogliendo dati da sensori e dispositivi elettronici, le RTUs consentono al sistema di controllo di monitorare e gestire in modo remoto il funzionamento della rete elettrica.

Advanced Metering Infrastructure (AMI): L'AMI è un sistema avanzato per la misurazione dell'energia. Questo sistema utilizza contatori intelligenti, noti come smart meters, per raccogliere dati dettagliati sul consumo energetico dei clienti. Gli smart meters permettono di registrare sia l'energia consumata che quella generata dai clienti, migliorando così l'accuratezza della fatturazione e consentendo una gestione più efficiente della rete.

I dati di misurazione sul campo abilitati dall'IoT possono essere raccolti in modo sicuro e automatico, includendo il controllo basato su blockchain e la comunicazione intelligente verso questi dispositivi ICT nelle reti domestiche (HAN), nelle reti di accesso a Internet (NAN) e nelle reti di ampio raggio (WAN)²⁵. Inoltre, gli AMI abilitati da blockchain possono utilizzare servizi DAPPS (Distributed Applications) per condurre la gestione dei sistemi decentralizzati, la gestione locale dell'energia e il trading in un ambiente informatico sicuro.

Tuttavia, in parallelo alle sfide poste dal mondo moderno, gli scienziati e gli ingegneri si trovano ad affrontare complessità nella soddisfazione delle esigenze del mercato a vari livelli e per diverse ragioni. La criticità del sistema di generazione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

²⁵ (Zheng, et al., 2018)

emerge in virtù di molteplici fattori, tra cui la carenza di materie prime per la produzione di energia, problemi di corruzione dei dati sia nella fase di trasmissione che di ricezione, dispersioni nelle linee di trasmissione e nel sistema di distribuzione, e altre variabili rilevanti.

In risposta a questa complessa realtà, è stata sviluppata la tecnologia della smart grid, volta a rispondere alle richieste dei consumatori, migliorare l'efficienza del sistema di generazione e distribuzione dell'energia elettrica, assicurare la tutela dei consumatori e garantire un monitoraggio e una regolazione completi dell'intero sistema mediante l'impiego dei dispositivi e delle tecnologie sopra citate. Pertanto, il focus critico di questo lavoro è includere una panoramica sulla blockchain nella smart grid e nel commercio energetico.

Il termine "SG" si riferisce a un concetto che racchiude l'intera filiera energetica in un unico framework. Il termine "rete intelligente" è stato utilizzato per la prima volta nel 2003²⁶: Michael T. Burr ha introdotto per la prima volta questa terminologia in un documento, nel quale ha spiegato come le carenze della rete elettrica potessero essere individuate e corrette per migliorare il meccanismo dei flussi di energia da inizio a fine processo lungo tutte le linee di trasmissione. La rete intelligente diventa "smart" sfruttando il meccanismo di sicurezza della rete nazionale tramite il sistema di controllo e acquisizione dati (SCADA), il monitoraggio e la diagnostica delle apparecchiature di trasmissione, il calcolo di rete, la gestione dell'intero sistema di alimentazione come un sistema ibrido adattivo e l'uso di agenti informatici distribuiti per creare una rete di alimentazione che possa lavorare autonomamente²⁷. In altre parole, una rete intelligente (Smart Grid o SG) rende più efficiente e sicuro l'intero sistema.

Il progresso di un sistema nazionale di rete elettrica altamente sicuro, affidabile ed ecologico, è guidato dalla crescente preoccupazione per le emissioni di gas serra come il biossido di carbonio (CO₂) e dalla richiesta di una trasmissione e distribuzione di energia più efficiente e affidabile²⁸. Una SG utilizza tecnologie informatiche per trasmettere energia tra i fornitori e i consumatori, monitora e regola elettrodomestici intelligenti nelle case o negli edifici degli utenti per conservare energia, risparmiare costi e migliorare l'affidabilità, l'efficienza e la trasparenza²⁹. La rete elettrica

²⁶ (Gao, et al., 2012)

²⁷ (Zheng, et al., 2022)

²⁸ (Fang, et al., 2012)

²⁹ (Yan, et al., 2013)

tradizionale è destinata a essere modernizzata da una intelligente, che monitora, protegge ed ottimizza automaticamente il funzionamento delle sue componenti

Gli Smart Meters per il Commercio dell'Energia

Gli Smart Meters (SM) rappresentano caratteristiche distintive della tecnologia della SG e diventano dispositivi estremamente affidabili per la misurazione dei dati nella generazione, trasmissione e consumo di energia elettrica. Questi combinano l'uso di contatori digitali e sistemi di comunicazione per consentire il monitoraggio in tempo reale dell'energia dei consumatori ³⁰. In termini semplici, uno SM è un contatore che calcola la quantità di elettricità utilizzata dai clienti, solitamente registra la lettura in diversi momenti durante la giornata, aiuta i clienti a comprendere il consumo di elettricità e le procedure di fatturazione, consentendo loro di gestire facilmente l'utilizzo energetico rispettando i budget desiderati.

D'altro canto, la misurazione effettuata dagli SM aiuta i fornitori e i consumatori a calcolare bollette accurate per i clienti fungendo da punto di contatto tra le famiglie e l'Operatore del Sistema di Distribuzione (DSO). È cruciale stabilire una connessione sicura tra lo SM e i server dell'azienda di distribuzione perché ciò può influenzare le transazioni e le informazioni di fatturazione. Quando diverse parti sono coinvolte in qualsiasi tipo di commercio, la fiducia rappresenta una grande sfida. Per le transazioni tra SM e DSO, la tecnologia blockchain può essere utilizzata per mantenere un registro distribuito, di conseguenza è possibile eliminare il problema della fiducia tra le parti, in quanto le sue caratteristiche intrinseche sono trasparenza e immutabilità.

³⁰ (Mistry, et al., 2020)

Generazione Distribuita

La tecnologia della rete intelligente (Smart Grid o SG) fa affidamento in modo significativo sulla Generazione Distribuita (DG), il termine si riferisce alla produzione di elettricità da diverse piccole fonti di energia. Attualmente, la generazione massiccia di energia in centrali elettriche ha inevitabili conseguenze, come effetti ambientali derivanti da trasmissione e distribuzione e un'alimentazione elettrica a volte instabile attraverso la rete. Le reti elettriche attuali stanno diventando sempre più sovraccariche a causa dell'aumento della domanda, di conseguenza, le strategie tradizionali contribuiscono alla complessità delle reti esistenti, per soddisfare le aspettative dei clienti sul lato della distribuzione, come bollette energetiche più basse, maggiore comfort, affidabilità e sicurezza dei dati, è necessaria un'analisi completa dei componenti della SG³¹. Le risorse di energia rinnovabile non convenzionale possono essere utilizzate per produrre elettricità e alleggerire il carico totale della domanda. Questa tecnologia migliora la qualità dell'energia, l'efficienza, l'affidabilità e la sicurezza, riducendo al contempo i costi operativi e l'impatto ambientale ³².

Il sistema della smart grid risulta essere più semplice sia per i fornitori che per i consumatori. La SG comunica in modo bidirezionale con il consumatore, fornendo informazioni sul prezzo e il consumo energetico, nonché sulla generazione di elettricità, dall'altro lato, i fornitori sono al corrente di tutte le voci di gestione e consumo. La sicurezza informatica di questo sistema utilizza interfacce di comunicazione come Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART), Ethernet e WLAN per i complessi dispositivi connessi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) e dispositivi PMU (Phasor Measurement Unit). Da sottolineare come da soli questi dispositivi di comunicazione consentono il controllo dell'intera rete. Tuttavia, è importante tenere presente che la privacy deve essere protetta quando si interagisce nel sistema SG, che sia multidirezionale o bidirezionale.

³¹ (Kakran & Chanana, 2018)

³² (Khoa, et al., 2006)

Capacità di Auto Riparazione

Poiché il sistema SG utilizza un approccio auto cognitivo per la generazione e la distribuzione di elettricità, deve fornire una funzionalità essenziale: la Capacità di Auto Ripristino (AHC). Questa funzione comprende l'identificazione automatica delle condizioni di sistema instabili, come sovracorrenti, correnti di guasto e tensioni transitorie, nonché la trasmissione delle informazioni alla sala di controllo centrale e la capacità di guarigione o ripristino da guasti o interruzioni. Inoltre la SG è comunemente chiamata Rete Verde (Green Grid), poiché può integrare fonti di energia rinnovabile nella rete e migliorare la produzione e la distribuzione efficiente dell'energia, contribuendo in modo significativo alla riduzione delle emissioni di carbonio.

Gestione dei Dati del Contatore

Il componente chiave dell'Infrastruttura di Misurazione Avanzata (AMI) è il sistema di gestione dei dati del contatore³³. La gestione dei dati del contatore (MDM) è un software che archivia e gestisce enormi quantità di dati generati dai sistemi di contatori intelligenti (SM) nel corso del tempo.

Dispositivi di Accumulo di Energia

I sistemi di accumulo di energia in molti dispositivi mobili hanno trovato eccellenti applicazioni. Pertanto, si è alla ricerca di sistemi di stoccaggio energetico ecologicamente sicuri che sostituiscano i dispositivi standard di accumulo in metallo a batteria acida, richiedendo più tempo di ricarica e un minor utilizzo di elementi inquinanti.

³³ (Gunduz & Das, 2020)

Impiego Blockchain nelle Smart Grid

L'integrazione della tecnologia blockchain (BC) con la tecnologia della SG sta diventando una soluzione sofisticata e fondamentale per facilitare le funzionalità di sicurezza; l'attuale sistema di gestione centralizzato esistente può essere trasferito sulla blockchain, quindi in un registro distribuito, grazie all'algoritmo a chiave pubblica, questa tecnologia dispone anche di crittografia end-to-end e, grazie alla struttura di elaborazione distribuita, garantisce così costi ridotti di gestione. Implementandola nelle SG potrebbe contribuire a risolvere numerosi problemi complessi legati alla trasparenza e all'affidabilità degli scambi di dati e delle transazioni energetiche. Gli smart contract basati sulla blockchain spesso escludono la necessità di negoziare con terze parti, semplificando la monetizzazione e i trasferimenti delle interconnessioni energetiche tra gli utenti, che includono i flussi stessi dell'energia e le relative transazioni finanziarie.

In questa sezione, verranno presentati principalmente le potenziali opportunità dell'applicazione della tecnologia blockchain nella rete intelligente. Verrà discusso in dettaglio come sarà il futuro sistema di smart grid, successivamente, descriveremo le caratteristiche della blockchain, nonché gli obiettivi di sicurezza, privacy e fiducia che possono essere raggiunti tramite questa tecnologia. Ciò ci permetterà di mostrare come tali aspetti motivino l'applicazione della blockchain nella creazione di comunità energetiche.

Nella sezione precedente, abbiamo illustrato la smart grid, ovvero la rete intelligente, che rappresenta una nuova infrastruttura di rete che utilizza tecnologie di calcolo e comunicazione digitali per trasformare e modernizzare la tradizionale rete elettrica in una rete di accesso e distribuzione dell'energia più precisa, efficiente e intelligente. Questa trasformazione e modernizzazione sono state innescate dalla crescente preoccupazione per i cambiamenti climatici e dalla necessità di fonti di energia sostenibili. L'obiettivo ultimo di queste modifiche è riformare il panorama energetico, integrando ed utilizzando sempre più energie rinnovabili e risorse energetiche distribuite, riducendo così la dipendenza dalle generazioni basate sui combustibili fossili. Mentre la rete tradizionale serve i consumatori attraverso linee di trasmissione a lunga distanza, il paradigma della smart grid avvicina produttori e consumatori tra loro, utilizzando produttori distribuiti e indipendenti di energia rinnovabile.

Più di recente, è stata introdotta la concezione di "Energy Internet" (EI), ovvero Internet dell'Energia, che rappresenta una versione avanzata del sistema di smart grid. L'EI si contraddistingue per l'uso delle tecnologie Internet per sviluppare la prossima generazione di smart grid, integrando informazioni, energia ed economia. L'obiettivo dell'EI è quello di facilitare l'integrazione senza soluzione di continuità di diverse fonti di energia pulita e rinnovabile nella rete, nonché di promuovere interazioni più intense tra vari elementi della rete elettrica, sviluppando una rete energetica completamente autonoma ed intelligente. L'idea chiave alla base dell'EI è quella di consentire la condivisione sia di energia che di informazioni, simile alla condivisione di dati su Internet.

Sebbene la smart grid e l'EI abbiano l'obiettivo di adattarsi sia alle generazioni distribuite che alle generazioni di energia centralizzata, uno dei principali svantaggi del design attuale è la sua topologia centralizzata, in cui la generazione da fonti rinnovabili di energia, il trasporto, la rete di distribuzione e i mercati dipendono in qualche modo da entità centralizzate o intermediarie. In questo sistema, gli elementi della rete interagiscono e comunicano con entità centralizzate in grado di monitorare, raccogliere e elaborare dati e di supportare tutti gli elementi con segnali di controllo appropriati. Inoltre, la trasmissione dell'energia avviene di solito attraverso una rete a lunga distanza per consegnare l'energia agli utenti finali attraverso la rete di distribuzione. Purtroppo, a causa della penetrazione delle energie rinnovabili e del continuo aumento del numero di elementi, il design attuale del sistema smart grid solleva alcune preoccupazioni. Tali preoccupazioni includono la scalabilità, l'espandibilità, i pesanti oneri computazionali e comunicativi, gli attacchi informatici e l'incapacità di controllare i futuri sistemi di alimentazione che saranno composti da un gran numero di componenti.

Di conseguenza, la trasformazione in un sistema decentralizzato rappresenta una sfida volta a introdurre caratteristiche più dinamiche, intelligenti e proattive. L'infrastruttura della rete stessa sta subendo un adattamento e sta evolvendo verso una rete completamente automatizzata e decentralizzata al fine di aumentare le interazioni tra tutti i componenti dei sistemi di smart grid in modo dinamico. La connettività e l'accessibilità offerte dall'EI raggiungono inoltre un livello superiore di operatività economica, efficiente e affidabile del sistema. La sicurezza, la privacy e la fiducia rappresentano aspetti cruciali per qualsiasi sistema, e lo stesso vale per il futuro sistema di

smart grid³⁴ ³⁵. In particolare, ciò implica la necessità di garantire diversi elementi, tra cui la protezione da accessi non autorizzati, l'implementazione di adeguati meccanismi crittografici, la prevenzione di modifiche non autorizzate alle informazioni, il controllo degli accessi in modo che solo gli attori con i diritti e i privilegi corretti possano accedere, la possibilità di fornire prove concrete riguardo alle azioni svolte da specifiche entità, la creazione di una rete resistente agli attacchi che minano le varie disponibilità, il miglioramento del monitoraggio e l'utilizzo di tecniche avanzate per preservare la privacy delle informazioni. Tutto ciò mira a incrementare la fiducia, la trasparenza e la democrazia tra tutti gli attori coinvolti nel sistema.

Nakamoto risolse il problema dell'instaurazione di fiducia in un sistema distribuito introducendo un nuovo meccanismo di consenso che ha reso Bitcoin l'applicazione blockchain più riuscita fino ad oggi. Ciò è dovuto non solo all'utilizzo del meccanismo di consenso basato sulla Proof of Work (PoW), ma anche all'utilizzo di altre tecniche, come la struttura dati crittograficamente protetta, la tecnica di firma digitale, il timestamp e lo schema di ricompensa. Nelle applicazioni blockchain, i meccanismi di consenso sono solitamente utilizzati per instaurare fiducia, d'altra parte, i diversi tipi di tecniche crittografiche vengono utilizzati principalmente per soddisfare i requisiti di sicurezza di base, tra cui la riservatezza, l'integrità, l'autenticazione, l'autorizzazione, la non-rinnegabilità delle informazioni immesse e la privacy. Sebbene il concetto di meccanismo di consenso e blockchain sia stato introdotto inizialmente nelle applicazioni legate alle criptovalute, non è necessario creare una criptovaluta per sviluppare un sistema decentralizzato basato su blockchain.

Attualmente, la maggior parte delle soluzioni si basa su modelli centralizzati in cui i componenti della rete intelligente dipendono da piattaforme centralizzate o intermediari per ottenere servizi come la fatturazione, il monitoraggio, le offerte, la compravendita di energia, ecc. Sebbene queste soluzioni siano mature e funzionino correttamente, vi sono diverse problematiche associate al sistema di rete intelligente attuale. Inoltre, come già accennato in precedenza, la smart grid sta agevolando l'integrazione di un gran numero di veicoli elettrici (EV), risorse energetiche distribuite (DER), prosumer e sistemi ciber-fisici (CPS). Di conseguenza, la topologia della rete stessa si sta adattando, passando da una struttura centralizzata a una rete decentralizzata e completamente automatizzata per permettere una maggiore interazione tra i componenti. Inoltre, il mercato della rete intelligente

³⁴ (Mrabet, et al., 2018)

³⁵ (Hossain, et al., 2019)

sta trasformandosi in una rete interattiva di prosumer decentralizzata rispetto alla rete centralizzata di produttori grazie al concetto di Economia dell'Informazione (EI).

In questa transizione verso sistemi decentralizzati, l'applicazione della tecnologia blockchain offre l'opportunità di agevolare questa trasformazione grazie alle seguenti caratteristiche che la rendono adatta:

Decentralizzazione: La rete blockchain è di solito gestita da diversi nodi decentralizzati attraverso protocolli di consenso. Questa rete può funzionare in modo P2P senza affidarsi a un'autorità centralizzata per l'autorizzazione e la manutenzione.

Scalabilità: I nodi nella rete blockchain sono in grado di espandere la rete man mano che sempre più nodi vi aderiscono. Ciò è principalmente dovuto alla natura decentralizzata della rete blockchain, che è gestita da una rete di pari.

Affidabilità senza bisogno di fiducia: La rete blockchain è trustless ma sicura, poiché i nodi non dipendono da alcun intermediario di fiducia per comunicare tra loro e tutti i record/transazioni sono protetti dalla crittografia asimmetrica.

Immutabilità: Poiché la tecnologia blockchain utilizza tecniche crittografiche e mantiene un registro globale sincronizzato tra i nodi, i contenuti all'interno dei blocchi non possono essere modificati a meno che la maggior parte dei nodi diventi malevola.

Trasparenza e Verificabilità: La rete blockchain è altamente trasparente nella sua struttura, poiché i nodi della rete sono in grado di verificare l'autenticità dei record e hanno la certezza che i blocchi non siano stati alterati. Inoltre, questa trasparenza rende i blocchi verificabili.

Con l'introduzione dell'AMI, le aziende di servizi pubblici, i consumatori e i produttori nella smart grid possono interagire ancora di più tra loro attraverso le comunicazioni automatizzate bidirezionale supportata dai contatori intelligenti. Rispetto ai contatori tradizionali, i contatori intelligenti sono dispositivi avanzati in grado di raccogliere dettagliatamente dati sull'uso e sulla produzione di energia, lo stato e i dati diagnostici. Questi dati vengono spesso utilizzati per scopi di fatturazione, controllo degli elettrodomestici degli utenti, monitoraggio e risoluzione dei problemi. Tuttavia, queste diverse trasmissioni di dati avvengono tramite la rete WAN e vengono archiviate nel tradizionale sistema di archiviazione centralizzato o nel cloud. L'esistenza del sistema centralizzato può comportare problemi intrinseci come potenziali rischi di modifiche, perdite di privacy e punti di guasto singoli. Inoltre, un maggior numero di connessioni con un sistema centralizzato può

comportare problemi di scalabilità, disponibilità e ritardi nella risposta. Oltre a ciò, i contatori intelligenti e i veicoli elettrici (EV) nel sistema di rete intelligente generano un'enorme quantità di registrazioni di pagamento e dati sull'uso dell'energia, che solitamente vengono condivisi con altre entità per scopi di monitoraggio, fatturazione e scambio. In un sistema così complicato, questa diffusa condivisione dei dati comporta seri rischi per la privacy, poiché i dati potrebbero rivelare informazioni considerevoli e sensibili su identità, posizioni, modelli di utilizzo e generazione di energia, profili energetici, quantità di carica o scarica tramite intermediari, intermediazioni e terze parti di fiducia.

Inoltre, la questione della fiducia è presente tra le parti centralizzate, i produttori e i consumatori. Di conseguenza, produttori e consumatori potrebbero incontrare difficoltà nell'accettare equità e trasparenza da parte delle parti centralizzate. Sviluppare un sistema AMI decentralizzato sicuro, rispettoso della privacy e affidabile è un compito importante. In questa sezione, riassumiamo alcuni studi correlati sulla blockchain nell'AMI.

Mylrea e Gourisetti³⁶ hanno introdotto un modello in cui hanno esplorato la blockchain insieme agli smart contract per la resilienza e la sicurezza della rete intelligente. I contratti agiranno come intermediari tra consumatori di energia e produttori per ridurre i costi e migliorare il tasso di transazione, migliorando allo stesso tempo la sicurezza delle transazioni. Una volta avvenuta una transazione, il contatore intelligente collegato alla rete blockchain invierà il record per creare un nuovo blocco, includendo un timestamp per futuri scopi di verifica all'interno del registro distribuito. Il consumatore può quindi essere addebitato in base ai dati registrati sul registro. Tuttavia, la mancanza di una discussione dettagliata degli aspetti tecnici è una delle principali preoccupazioni di questo articolo.

Nel lavoro del gruppo di Bertoncini³⁷, viene presentato un modello di gestione della domanda per le reti energetiche intelligenti al fine di realizzare la decentralizzazione e l'autonomia. In questo modello, la blockchain viene utilizzata per creare una rete energetica decentralizzata, sicura e automatizzata in modo che tutti i suoi nodi possano operare in modo indipendente senza dipendere da una supervisione centralizzata e dal controllo del DSO (Distributed System Operator). Inoltre, viene utilizzata per archiviare le informazioni sul consumo energetico in modo inalterabile nei blocchi, che possono essere raccolti dai contatori intelligenti. D'altra parte, lo smart contract, è

³⁶ (Mylrea & Gourisetti, 2017)

³⁷ (Pop, et al., 2018)

presentato per offrire un controllo decentralizzato, calcolare gli incentivi o le penalità, convalidare gli accordi di risposta alla domanda e applicare le regole associate al bilanciamento tra la domanda e la produzione di energia nel lato della rete elettrica. Infine, questo modello viene convalidato e testato mediante la creazione di un prototipo sviluppato sulla piattaforma Ethereum blockchain, utilizzando i dati sui consumi e sulla produzione energetica degli edifici nel Regno Unito. I risultati indicano che questo modello è in grado di adattare tempestivamente le richieste in tempo quasi reale eseguendo i livelli di flessibilità energetica e di convalidare tutti gli accordi di risposta alla domanda. Tuttavia, non è chiaramente specificato come sia stata garantita l'anonimato del profilo energetico in questa blockchain pubblica. Analizzando le transazioni pubblicamente disponibili, esiste la possibilità di identificare l'utente.

Il lavoro in ³⁸ introduce un approccio assistito da blockchain e edge computing per rafforzare la funzionalità e la sicurezza energetica della rete di smart grid. La blockchain è utilizzata principalmente per garantire la privacy di tutti i partecipanti e lo storage decentralizzato dei dati al fine di resistere alle attività malevole all'interno dei canali di comunicazione e dei data center/cloud centrali. Questa architettura blockchain è permissionless, e vengono introdotte tre entità, come dispositivi edge, super nodi (SN) e server degli smart contract, al fine di garantire la correttezza e la fiducia all'interno della rete blockchain. Qui, i dispositivi edge sono considerati come nodi tipici, come nel sistema blockchain classico. D'altra parte, i SN sono un tipo speciale di nodi che hanno il permesso di selezionare alcuni dispositivi dagli edge device per partecipare al consenso e al processo di voto. Prima di chiedere di partecipare al processo di voto, i SN devono convalidare le identità dei nodi edge attraverso tecniche di autorizzazione dell'identità al fine di assicurarsi che i nodi di voto non siano malevoli e anche meno vulnerabili ad attacchi della tipologia 51%. Questo smart contract contiene la strategia ottimale gestita dai dispositivi edge per l'allocazione delle risorse energetiche agli utenti della rete elettrica considerando il consumo energetico, la latenza e la sicurezza.

Tan et al. ³⁹ hanno introdotto un modello di pianificazione energetica sicuro e affidabile chiamato "privacy-preserving energy scheduling" (PPES) per le aziende di servizi energetici (ESCO). Attraverso la blockchain e lo smart contract, affrontano le crescenti preoccupazioni per la privacy delle ESCO centralizzate, che potrebbero comprendere informazioni finanziarie e comportamentali che causerebbero problemi di privacy per il mercato energetico distribuito. Inoltre, il modello proposto

³⁸ (Gai, et al., 2019)

³⁹ (Tan, et al., 2019)

viene decomposto in alcuni problemi di pianificazione ottimale a livello individuale. Successivamente, il consenso e lo smart contract risolveranno i problemi di pianificazione individuale nella rete al fine di fornire una riduzione complessiva dei costi energetici proteggendo al contempo la privacy. Infine, la simulazione e il confronto delle prestazioni mostrano che il modello proposto è molto più efficiente, affidabile e favorevole rispetto ai modelli convenzionali per quanto riguarda la pianificazione energetica, la trasparenza delle informazioni e il commercio dell'energia. Tuttavia, la scalabilità di questo modello proposto non è valutata in questa tesi.

3.1 Analisi dei sistemi di tokenizzazione e trading di energia su blockchain

Nei sistemi energetici tradizionali, i consumatori, i produttori e i prosumer (coloro che producono ed utilizzano energia) partecipano sempre più a scenari di commercio energetico. Possono scambiare tra di loro l'energia generata localmente o l'energia in surplus proveniente da fonti come micro grid, veicoli elettrici (EV) e unità di stoccaggio dell'energia (ESU). Questo commercio energetico tra pari offre diversi vantaggi, tra cui la riduzione dei picchi di carico, la minimizzazione delle perdite di energia durante la trasmissione, la riduzione dello stress sulla rete elettrica, la promozione di soluzioni energetiche sostenibili e il bilanciamento dell'offerta e della domanda energetica.

Per facilitare questo commercio energetico diretto e senza soluzione di continuità, è essenziale incorporare i processi necessari per offerte, negoziazioni ed esecuzione di contratti tra i partecipanti. Nei sistemi tradizionali, i consumatori e i produttori di solito si impegnano in operazioni di scambio energetico in modo indiretto attraverso numerosi intermediari di terze parti e rivenditori. Questo approccio introduce varie sfide, tra cui elevati costi operativi e regolamentari, che alla fine sono sostenuti dagli attori del settore energetico. Inoltre, il coinvolgimento di intermediari può comportare problemi legati alla fiducia, alla trasparenza, all'equità e alla possibilità di pratiche, incentivi, premi e penalità monopolistiche.

Qui, i prosumer utilizzano l'infrastruttura avanzata di misurazione (AMI) per monitorare l'eccesso di energia immessa (tramite la rete di trasmissione dell'energia) nella smart power storage. La smart power storage è la combinazione di immagazzinamento dell'energia di rete e della rete di trasmissione dell'energia. D'altra parte, i consumatori utilizzano l'AMI per effettuare la domanda di energia. Le richieste transazionali di energia valide vengono registrate sulla blockchain, che offre una negoziazione energetica distribuita a tutti i nodi della rete. I risultati della negoziazione vengono notificati all'operatore di rete, responsabile della reale erogazione dell'energia al consumatore previsto tramite la rete di trasmissione.

Il framework proposto prende in considerazione i prosumer, le smart power storage, la tecnologia del registro distribuito, gli smart contracts e gli utenti finali (che diventano prosumer). Questi hanno pannelli solari o sistemi eolici per generare energia e interagiscono con la blockchain attraverso lo Smart Meter. Ciascun prosumer ha una copia del registro distribuito per mantenere i dati energetici continuamente aggiornati. Viene considerata la blockchain di Ethereum come infrastruttura per mantenere i dati energetici in quanto è completamente decentralizzata, permissionless e

completamente trasparente, ed è quindi più adatta per le applicazioni di trading delle risorse energetiche nella smart grid. Qui, la blockchain ha due unità di transazione, ovvero i token energetici e la moneta contante. Lo schema di funzionamento concettuale senza declinazioni applicative è costituito dalle seguenti fasi⁴⁰:

1. Il prosumer immette energia nella smart power storage.
2. Avviene uno scambio di dati tra i prosumer e lo smart contract che regola l'immissione dell'energia. Dopo la verifica della transazione, lo smart contract dell'energia invia token energetici (equivalenti alla quantità di energia immessa) al prosumer.
3. Lo smart contract verifica la richiesta di immissione dell'energia da parte del prosumer.
4. Lo smart contract tiene traccia del conto dell'energia disponibile.
 - (a) L'ammontare di energia disponibile per l'istanza di negoziazione energetica viene comunicato allo smart contract di negoziazione.
 - (b) Le transazioni di immissione energetica verificate vengono registrate nel registro distribuito (DLT).
5. Il consumatore invia una richiesta di energia e l'ammontare desiderato come offerta di domanda energetica.
6. Lo smart contract che regola l'offerta organizza un'asta per l'istanza di negoziazione energetica.
 - (a) La richiesta di domanda energetica per l'istanza di negoziazione energetica viene comunicata al contratto di negoziazione.
 - (b) Le transazioni di domanda energetica vengono aggiornate nel DLT.
7. Lo smart contract di negoziazione energetica effettua il collegamento tra l'offerta e la domanda basato sul metodo di asta iterativa di Vickrey.
 - (a) Vengono emesse monete contanti al prosumer.
 - (b) Vengono emessi token energetici al consumatore.
 - (c) Il risultato della negoziazione viene registrato nel DLT.

⁴⁰ (Muzumdar, et al., 2021)

8. Il consumatore attiva lo smart contract di utilizzo dell'energia per il consumo di energia.
9. Lo smart contract verifica la proprietà dei token energetici.
10. Lo smart contract di utilizzo dell'energia consuma i token energetici e ordina alla smart storage di rilasciare energia.
 - (a) La smart grid rilascia energia al consumatore.
 - (b) I token energetici vengono restituiti e il DLT viene aggiornato di conseguenza.

Il processo sopra descritto viene ripetuto dopo un intervallo di tempo fisso per gestire più processi di asta attivi contemporaneamente. Viene considerato un sistema con un intervallo di tempo di 30 minuti per lo scambio di energia. Questo intervallo può essere modificato in base alle politiche e alle regolamentazioni della rete.

Di seguito vengono riportati alcuni studi effettuati su declinazioni di proposte di sistemi di incentivazione basati su token:

Li et al. ⁴¹ hanno introdotto un sistema di trading energetico peer-to-peer (P2P) basato su una criptovaluta chiamata "energy coin" al fine di garantire la sicurezza e la decentralizzazione delle transazioni energetiche in vari contesti, che prevede il recupero di energia tramite le microgrid e le reti "vehicle-to-grid" (V2G). Questo sistema si basa sulla tecnologia della blockchain consortile e su un sistema di pagamento basato su crediti e sulla teoria dei giochi di Stackelberg.

Il sistema di pagamento basato su crediti è stato introdotto per superare il problema dei ritardi nella conferma delle transazioni, che è comune nelle blockchain basate su PoW come Bitcoin. In base a questo schema, i nodi peer possono richiedere prestiti di "energy coin" in base al loro valore di credito, consentendo così pagamenti rapidi ed efficienti, a differenza di Bitcoin. La teoria dei giochi di Stackelberg è stata utilizzata per proporre una strategia ottimale di determinazione del prezzo dei prestiti in modo da massimizzare i benefici economici degli utenti che fungono da banche di credito. Tuttavia, nell'articolo non viene discussa una prova formale dell'attacco di "double spending", e non è stata implementata una versione di prova della blockchain energetica proposta.

Svetinovic ⁴² ha introdotto un sistema decentralizzato basato su token chiamato PriWatt. Lo scopo di PriWatt è affrontare i problemi legati alla sicurezza delle transazioni e alla privacy delle identità degli

⁴¹ (Li, et al., 2018)

⁴² (Aitzhan & Svetinovic, 2018)

utenti nel sistema di trading energetico della smart grid. Questo sistema è composto da uno smart contract assistito dalla blockchain, firme multiple e flussi di messaggi crittografati anonimi. Attraverso gli accordi scritti all'interno dello smart contract, PriWatt consente agli acquirenti e ai venditori di gestire complesse offerte e negoziazioni dei prezzi dell'energia evitando attività malevole. Per effettuare offerte e negoziazioni in modo anonimo, viene utilizzato un protocollo di messaggistica anonima. Lo schema multisignature viene utilizzato per garantire protezione contro i furti, in quanto per convalidare una transazione è necessario che più parti firmino quella transazione. Inoltre, per il consenso, utilizzano anche il PoW come Bitcoin per evitare il problema dei generali bizantini e attacchi di double-spending. Non vi è però una discussione dettagliata su quali nodi siano i miner PoW, come verrà eseguito il PoW dai miner e quali saranno le ricompense dopo il mining riuscito.

Zheng et al.⁴³ hanno proposto un nuovo approccio al trading energetico per la rete intelligente al fine di garantire l'efficienza, la flessibilità e la protezione della privacy dei dati degli utenti, sviluppato utilizzando una blockchain consortile, smart contract, PoS (Proof of Stake), pseudonimi e meccanismi crittografici. Questa proposta suggerisce l'uso del PoS al posto del costoso PoW all'interno della loro rete, mentre i dati degli utenti raccolti dai sensori vengono crittografati utilizzando tecniche crittografiche prima di essere caricati sui nodi autorizzati. È stato sviluppato uno smart contract implementato su Ethereum per applicare restrizioni sui diritti di accesso ai dati e la trasparenza delle transazioni. Inoltre, sono stati utilizzati pseudonimi per garantire la privacy degli utenti nascondendo le loro vere identità.

⁴³ (Zheng, et al., 2018)

3.2 Analisi della blockchain come strumento per la gestione dei diritti di proprietà delle risorse energetiche rinnovabili

Il sistema CPS (Controllo, Monitoraggio, e Acquisizione Dati Supervisionato) della smart grid è principalmente basato sul sistema centralizzato SCADA (Controllo e Acquisizione Dati Supervisionato) che è interconnesso con vari elementi come MTU (Unità di Monitoraggio del Terminale), RTU (Unità di Trasmissione Remota), PMU (Unità di Misurazione delle Prestazioni), e una serie di sensori in una struttura gerarchica. Il sistema SCADA viene ampiamente utilizzato per monitorare e controllare le reti elettriche: integrato con Internet, il sistema SCADA la misurazione e il controllo di parametri distribuiti su larga scala in modo migliorato. I dispositivi intelligenti IoT, i sensori e i PMU raccolgono di solito informazioni sullo stato dei dispositivi di alimentazione e le condividono con le MTU tramite RTU⁴⁴. Il sistema delle smart grid utilizza queste misurazioni dettagliate tra diversi operatori di rete, tra cui fornitori e consumatori, consentendo il controllo intelligente, il monitoraggio su vasta scala e la governance per gestire meglio sicurezza, stabilità, affidabilità, nonché il monitoraggio delle perdite di energia. Tuttavia, possono essere lanciati attacchi informatici in diversi modi da parte di malintenzionati o insider, come l'alterazione dei dati all'interno dei controller centrali o l'iniezione di dati non corretti attraverso sensori e PMU. Di conseguenza, l'hacker è in grado di prendere il controllo dei canali di controllo e generare comandi malevoli. Nel sistema di rete intelligente elettrica decentralizzata, la blockchain offre nuove opportunità per il monitoraggio, la misurazione e il controllo. Di seguito i lavori di alcuni studiosi che hanno analizzato il problema.

Maw et al.⁴⁵ si sono concentrati sulla sicurezza dei dati nel sistema di controllo industriale (ICS). Viene introdotta un'architettura basata su blockchain chiamata ICS-BlockOpS per aumentare la sicurezza dei dati operativi dell'impianto. La natura antimanomissione della blockchain è in grado di garantire l'immutabilità dei dati. Inoltre è stato presentato anche un meccanismo di replica efficiente assistito da blockchain per garantire la ridondanza dei dati, ispirato originariamente dal sistema di file distribuito Hadoop (HDFS).

⁴⁴ (Mollah, et al., 2020)

⁴⁵ (Maw, et al., 2019)

Gao et al. ⁴⁶ hanno presentato un sistema di monitoraggio basato su blockchain e smart contract nella rete elettrica intelligente per garantire la trasparenza del consumo energetico e la sicurezza. Questa rete blockchain è composta da tre diversi tipi di nodi in base alle loro responsabilità, come contatori intelligenti, nodi di consenso e aziende di servizi pubblici. Di solito, i contatori intelligenti inviano dati digitali misurati dell'energia dai consumatori alla rete blockchain. D'altra parte, i nodi di consenso sono responsabili della gestione dei record di consumo energetico, della conservazione dei dettagli delle iscrizioni individuali forniti dalle aziende di servizi pubblici, della convalida per creare nuovi blocchi e della loro diffusione per aggiungerli alla catena principale. Tuttavia, prima di creare nuovi blocchi, questi nodi creano moduli temporanei per gli utenti individuali, che includono ID dei contatori e altre informazioni dei consumatori. Successivamente, questi moduli verranno convertiti in blocchi e accettati dai nodi di consenso. Qui, la blockchain è adottata per creare un sistema di registrazione immutabile per proteggere i dati dei contatori intelligenti dall'alterazione da entrambe le parti, consumatori e aziende di servizi pubblici. Inoltre, lo smart contract viene utilizzato per gestire il secondo livello del sistema che esegue operazioni crittografiche sui dati, genera blocchi e li registra poi nel registro distribuito. La funzione del terzo livello è quella di archiviare l'intera blockchain in modo distribuito e sincronizzato. Per far sì che tutti questi livelli sopra menzionati si integrino efficacemente, è stato introdotto un quarto livello: fornisce servizi di monitoraggio in tempo reale e previsione delle anomalie agli utenti. Infine, l'architettura proposta è stata implementata in una piattaforma di produzione automatica. I risultati degli esperimenti mostrano che, rispetto all'architettura tradizionale, l'architettura proposta offre una maggiore sicurezza e privacy. Tuttavia, in questo articolo mancano discussioni su quali nodi siano responsabili dell'esecuzione del PoW e quali siano le responsabilità dei Light Node.

⁴⁶ (Gao, 2018)

3.3 La blockchain per il mercato flessibile e la gestione della smart grid: l'approccio Platone

Platone è un nuovo approccio per aumentare l'osservazione delle risorse dell'energia rinnovabile ed anche dei carichi elettrici non stimabili con precisione. Il suo nome deriva da PLATFORM for Operations of distribution NETWORKS, e tende all'ottimizzazione della flessibilità tramite l'adozione nel mercato di una gestione intelligente della smart grid, proponendo questo progetto pilota in tre nazioni al momento: Italia, Germania e Grecia. Vedremo a breve l'esperienza italiana della gestione della flessibilità energetica in una applicazione reale. La soluzione proposta è stata chiamata Platone Open Framework e consiste di una struttura blockchain a due strati: la service blockchain e la access blockchain (blockchain service layer e blockchain access layer). Nel contesto del progetto Platone la sua Market Platform permette il supporto all'interscambio di richieste energetiche flessibili in ampie zone geografiche dal TSO al DSO, queste vengono abbinate con le offerte degli aggregati, risolvendo molti conflitti che avvenivano con la gestione tradizionale (come la priorità di distribuzione). Tutte le operazioni di mercato sono registrate e certificate nella service blockchain con trasparenza e sicurezza. La access blockchain aggiunge un ulteriore livello di sicurezza e correttezza alla struttura essendo una estensione di una infrastruttura fisica che svolge diversi compiti, tra cui la certificazione dei dati e l'esecuzione di scambi automatizzati attraverso smart contract. Questo layer include la blockchain access platform (BAP) e il database condiviso del cliente (SDC): la access platform aumenta così tutte le funzionalità offerte dalla tecnologia blockchain attraverso smart contracts e fornisce un'interfaccia per l'integrazione dei dati che provengono dalle infrastrutture fisiche. La SDC contiene tutte le misure certificate e altri dati necessari raccolti dalle infrastrutture fisiche dei clienti, permette anche agli altri componenti della piattaforma Platone Open Framework di avere accesso ai dati facilmente e senza la compromissione della privacy⁴⁷.

⁴⁷ (Losa, et al., 2021)

Market Platform: Certificazione di azioni di mercato e incentivazione tramite token

Come già menzionato l'implementazione di un mercato aperto e corretto è uno degli scopi principali del progetto Platone. Per fare questo è importante considerare il mercato dell'energia flessibile come un posto dove tutti i componenti del mercato (DSO, TSO, aggregati FSP e utenti finali, possano partecipare attivamente in maniera corretta e trasparente potendo fidarsi di tutti i processi disponibili nel mercato stesso. La market platform di Platone abilita sia alla gestione di richieste di energia di una ampia area geografica sia a quelle locali: queste sono abbinate alle offerte che prevencono dagli aggregati (o da altri tipi di provider flessibili, inclusi i clienti finali) così risolvendo i conflitti derivanti da regolamenti predefiniti o priorità stabilite dal mercato del dispacciamento. Tutte le operazioni di mercato sono registrate e certificate nel blockchain service layer, assicurando il più alto livello di trasparenza, sicurezza e fiducia tra tutti gli attori del mercato.

La piattaforma di Platone abilita un meccanismo di incentivazione innovativo per l'acquisizione clienti basato sulle peculiarità della sua infrastruttura, sugli smart contracts e la relativa tokenizzazione delle attività. I servizi implementati usando smart contract e la tecnologia blockchain sono:

- Tracking e controllo dei record e convalida dei dati riguardanti l'energia e il mercato
- Pubblicazione dei prezzi sui listini energetici e relativi bid/offer
- Gestione, validazione e certificazione delle informazioni contenute nei blocchi

Il processo di digitalizzazione e il ruolo centrale del prosumer implica che il flusso dei dati possa essere verificato (integrità dei dati e proprietà dei dati), la blockchain abilita la certificazione dei flussi di dati che vengono dagli Smart Meters installati dai TSO e dai DSO, offrendo un'opportunità unica di fiducia agli stakeholders. Con questo approccio che combina Internet of Things e blockchain, è necessario implementare una nuova architettura che permetta a chiunque sia in possesso di rilevazioni degli Smart Meters di verificare quando e da chi è stata dichiarata una attività nella blockchain. La verificabilità è garantita da:

- Un database condiviso con regole di accesso autorizzate direttamente dal consumatore
- Uno smart contract pubblico con la relativa chiave di associazione dello Smart meter, che ne identifica univocamente l'identità. Lo smart contract è applicato e aggiornato direttamente dall'operatore del network (TSO, DSO).

Le rilevazioni vengono acquisite e gestite all'interno di un database di proprietà di un soggetto terzo, garante di sicurezza e protezione dati, ma allo stesso tempo i dati sono verificabili pubblicamente. Chiunque abbia accesso ai dati originali può verificare che la firma corrisponda a cosa è presente nella blockchain; la soluzione è anche conforme al GDPR, perché solo le firme (stringhe alfanumeriche) e le public key degli Smart meter sono registrate nella blockchain.

Il caso proposto disegna ed articola un sistema completo che abilita tutte le risorse (Smart Appliant, pompe di calore, sistemi di carica dei veicoli elettrici, sistemi di accumulo, etc) connesse al sistema di distribuzione elettrica a fornire servizi ausiliari agli operatori di sistema (SO: System Operator, ovvero DSO e TSO). Il caso studio mira a creare un mercato flessibile in grado di rendere efficiente l'interazione tra i vari attori coinvolti per mezzo di nuovi servizi, abilitati dalle infrastrutture informatiche prima citate, in grado di risolvere gli attuali problemi che affliggono la rete elettrica, come la congestione e i sovraccarichi di rete. Nel dettaglio, gli operatori di sistema acquisiscono l'abilità di richiedere agli utenti finali di modulare i volumi di scambio energetico, tramite una pianificazione delle attività che intercorrono tra gli impianti degli utenti e la rete elettrica, il servizio dato da ogni utente è così misurato direttamente dal Point of delivery (PoD).

Questo caso prevede una prova di applicazione reale a Roma, che ha iniziato le operazioni nel giugno del 2021, e coinvolge specifiche porzioni della rete di distribuzione elettrica della città.

Per l'efficienza di sistema il mercato è disegnato per essere:

- Flessibile, per abilitare il più possibile gli utenti ad offrire servizi
- Trasparente, adottando precisi meccanismi cosicché gli utenti evitino le barriere operative legate alla fiducia tra le parti
- Affidabile nei pagamenti, le retribuzioni avvengono esclusivamente a servizi erogati

Per adempiere a questi requisiti il caso esaminato usa la tecnologia blockchain, particolarmente adatta per gestire un grande numero di clienti e dati e migliorare le tecnologie di interfacciamento tra rete e utenti. Nel dettaglio la blockchain è usata per:

- Certificare le rilevazioni raccolte dagli Smart Meters installati nei PoD degli impianti degli utenti
- Certificare gli input ricevuti dagli utenti partecipanti alla rete per attivare i servizi

- Certificare i risultati del mercato dopo che questo ha evaso e validato gli ordini
- Erogare il corretto numero di token attribuibili ad ogni utente in seguito ai servizi prestati

La blockchain esegue tutte le funzioni sopracitate per definizione, rimuovendo ogni possibilità di errore o recriminazione tra le parti coinvolte (SO, cliente, aggregato). La certificazione delle misurazioni è essenziale perché rende possibile valutare il servizio quando realmente erogato dall'utente e così calcolare in modo trasparente e sicuro la relativa ricompensa. Al fine di permettere la certificazione dei dati uno specifico dispositivo smart è stato disegnato e realizzato il Light Node: capace di aggregare misure dagli Smart meter di seconda generazione, usando il linguaggio di programmazione PLC-C (Chain 2), che permette di collegare il contatore Open Meter e i Dispositivi Utente e riceve setpoint dalla piattaforma DSO⁴⁸. Il light Node è anche un dispositivo di interfaccia tra la rete e l'utente che permette di inoltrare i setpoint (sono valori di riferimento o obiettivi predefiniti utilizzati per controllare e regolare il funzionamento dei dispositivi e dei sistemi all'interno della rete elettrica smart, fondamentali per garantire che la rete funzioni in modo efficiente, affidabile e in linea con gli obiettivi operativi e di gestione) alle relative strutture di produzione energetica degli utenti, in modo da favorire l'efficientamento produttivo e seguente scambio della risorsa energetica sui mercati in maniera automatica. Grazie allo sfruttamento delle caratteristiche degli Smart Meter di seconda generazione la tecnologia blockchain è a basso impatto economico ed il Light Node facilita il coinvolgimento massiccio degli utenti a questa nuova impostazione di mercato.

Il progetto italiano di Platone crea un sistema scalabile ed interamente replicabile, capace di gestire un mercato flessibile e vasto, dove gli utenti, secondo le loro capacità possono offrire piccoli o grandi volumi di servizi agli operatori di sistema. A questo scopo la demo implementa una architettura multipiattaforma (basata su quella definita nel progetto Platone europeo) dove ogni componente ha ruolo e funzioni specifiche ed è gestita da attori che operano tra loro senza intermediari.

Di seguito verranno illustrati tutti i componenti previsti dal sistema:

- MARKET PLATFORM (MP): può raccogliere e prevedere differenti richieste del TSO utilizzando un simulatore, raccogliendo al contempo le richieste locali del DSO e le offerte degli aggregati, abbinare tra loro secondo un meccanismo di evasione degli ordini che include l'interazione del DSO che garantisce la sicurezza della rete elettrica. Inoltre provvede alla

⁴⁸ (Losa, et al., 2021)

corretta gestione degli attori coinvolti, basata sulle rilevazioni archiviate nel database condiviso degli utenti.

- DSO TECHNICAL PLATFORM (DSO TP): permette al DSO di eseguire la previsione delle stime di energia richiesta dagli utenti della rete e, se necessario, automaticamente elabora richieste di flessibilità per bilanciare i problemi di rete come sovraccarichi o congestioni. Nello specifico la DSO TP gestisce i flussi di energia elettrica e rileva i bisogni di variazione di domanda inoltrati alla Market Platform. Inoltre, esegue la convalida tecnica dei risultati economici della market platform, retribuendo in maniera consona gli utenti con i relativi guadagni, dettati dai parametri dello smart contract. Se per ragioni di sicurezza di rete alcune offerte non possono essere convalidate, la DSO TP informa la Market platform limitando il servizio di reward tramite i relativi PoD installati.

- AGGREGATOR PLATFORM (AP): permette all'aggregator, che agisce da ponte tra i fornitori, come produttori di energia rinnovabile o imprese di servizi energetici, e i consumatori di energia, come le famiglie, le aziende e le infrastrutture, di gestire i clienti capaci di fornire un servizio flessibile. In particolare questa piattaforma è in grado di gestire i dati delle risorse ed elaborare le offerte del mercato, sulla base della capacità e disponibilità degli impianti di generazione energetica degli utenti.

- BLOCKCHAIN ACCESS LAYER (BAL): E' il punto di connessione tra le risorse distribuite (PoD) e l'intero sistema, raccoglie e certifica le misurazioni sulla blockchain condividendole con il Database condiviso dei clienti.

- SHARED CUSTOMER DATABASE (SCD): è l'archivio di tutti i dati importanti per la gestione del sistema e ne definisce le linee guida. Tali dati sono poi condivisi con le piattaforme e gli stakeholders in maniera trasparente, aumentando così la fiducia nei meccanismi del mercato e migliorando l'osservabilità delle risorse connesse alla rete.

- Light Node (LN) e Smart Meter (SM): sono i dispositivi installati alla rete dal lato utente, che possono certificare il comportamento del cliente rispetto le interazioni effettuate con la rete, e inviare i setpoint misurati ai dispositivi di generazione energetica, in modo da consentire l'efficientamento degli scambi in maniera automatica. I Light Node sono i nodi blockchain che si interfacciano con gli impianti di generazione di energia rinnovabile tramite il Blockchain Access Layer⁴⁹.

Lo scopo principale di Platone è quello di impedire i problemi di congestione ed evitare i sovraccarichi di rete nei sistemi di trasmissione e distribuzione, sfruttando la flessibilità degli asset collegati, considerando tutte le fasi implicate (approvvigionamento, attivazione e settlement) sia nel mercato dell'energia a pronti che a termine. Gli scenari di applicazione, valutati nell'ambiente reale, hanno incluso tre processi diversi:

- Rilevamento dei problemi di congestione e sovraccarico per mezzo della piattaforma DSO e definizione della domanda locale nel caso in cui il problema non possa essere risolto attraverso le soluzioni proposte dalla piattaforma.
- Definizione dei problemi sopra menzionati sulla rete di trasmissione per mezzo del TSO e risoluzione per modulazione della offerta energetica tramite la rete ad alto voltaggio.
- Raccolta delle offerte energetiche a basso e medio voltaggio dei prosumer sulla Piattaforma di Aggregazione, che vengono poi immesse sul Mercato.

Gli ordini di domanda/offerta nel mercato a termine, da parte del DSO e del TSO, sono raccolti nella Platone Market Platform, che inizialmente abbina le offerte alle richieste del DSO e le ordina in base a criteri economici; successivamente, ripete la stessa procedura con le richieste del TSO. La lista delle offerte premiate viene inviata alla DSOTP per valutare eventuali violazioni delle restrizioni della rete. Infine, la Platone Market Platform riceve la lista delle offerte conformi ai vincoli della rete locale e la invia a tutti gli interessati, dopo averle notarizzate sulla blockchain. A questo punto la Aggregator Platform manda l'offerta d'acquisto ai proprietari degli impianti di energia rinnovabile selezionati, per l'acquisizione delle risorse energetiche nel mercato a termine. Le stesse procedure sono anche seguite nelle sessioni in tempo reale, in questi mercati le offerte da abbinare tra DSO e le richieste del TSO sono ancora valide, perché non abbinate in sessioni di mercato precedenti.

⁴⁹ (Paludetto, et al., 2022)

La fase di attivazione del servizio comincia quando il DSO e il TSO hanno bisogno di regolare i flussi energetici: gli attori comunicano alla Market Platform la formulazione di un'offerta specifica, che viene inoltrata alla DSOTP, ramificata poi ad ogni PoD che spedisce i setpoint ai Light Node. Questi rendono disponibili i setpoint ai BMS (Blockchain Measurement System) per misurare i quantitativi energetici da inviare alla SCD (Shared Customer Database). Nella fase di matching Platone Market Platform acquisisce i dati dallo SCD e calcola la differenza tra la baseline del mercato e le quantità di energia elettrica misurate nello stesso lasso di tempo che si trovano nello SCD caricate dai Light Node.

La Platone Market Platform utilizza un algoritmo, basato su smart contract, per il match delle offerte nel mercato e ne definisce le condizioni, che vengono trasmesse alla Aggregator Platform, al DSO e al TSO.

Infine, il DSO eroga le commissioni dovute ai proprietari delle risorse acquisite, secondo il meccanismo dei token della blockchain.

3.4 Convalida dei Risultati

L'intera impalcatura tecnologica del progetto è stata sperimentata con successo a Roma. La prima fase del progetto prevedeva il coinvolgimento di utenti in aree selezionate della città, con focus particolare su clienti residenziali, poiché costituiscono la maggioranza degli utenti connessi, in termini di quantità e potenza contrattuale, e il loro coinvolgimento è fondamentale per creare un mercato della flessibilità energetica in un'area urbana. Inoltre, la fase di coinvolgimento ha permesso di includere nel test anche un grande utente industriale dotato di cogeneratore. Dal luglio 2021 il progetto conta 11 utenti residenziali e uno industriale, nello specifico la loro produzione e il consumo elettrico vengono misurati in tempo reale dagli Smart Meters e i dati vengono recepiti dai Light Node per essere certificati e inviati allo Shared Customer Databases attraverso il Blockchain Access Layer. Tale flusso di dati viene continuamente verificato per controllare l'affidabilità dell'intero meccanismo di comunicazione, i dati certificati nello SCD, oltre che essere usati dalla Market Platform per definire gli scambi, sono molto utili per gli operatori di sistema poiché possono essere usati per migliorare l'osservabilità della rete. Tali dati sono anche utili all'Aggregator per migliorare la sua valutazione di capacità potenziale di generazione energetica da risorse flessibili, utilizzabile per elaborare le offerte, evitando l'installazione di altri dispositivi per raggiungere lo stesso scopo⁵⁰.

Gli utenti hanno accesso a queste informazioni attraverso l'applicazione mobile "Flessibili", utilizzabile anche per immettere le proprie risorse energetiche alla disponibilità del servizio.

Va specificato che gli utenti forniti di sistemi di accumulo di energia possono erogare l'offerta energetica in maniera automatica, senza la necessità di attivazioni manuali: quando il Light Node riceve il setpoint manda il comando di attivazione direttamente al sistema di gestione degli accumulatori, evitando disagi agli utenti. Il corretto funzionamento del meccanismo citato è stato controllato con risultati positivi in laboratorio. Le funzionalità di Flessibili e l'attivazione automatica dei suoi servizi per mezzo di sistemi di accumulo di energia, con l'aggiunta dell'affidabilità e della trasparenza della tecnologia blockchain, rende estremamente facile all'utente offrire in maniera agevole le proprie risorse energetiche alla rete, e di conseguenza creare un mercato liquido.

Mentre il flusso di dati che proviene dai Light Nodes sono dati reali, i dati del mercato delle risorse dei prosumer sono stati simulati, perché fino ad adesso non ci sono stati problemi di rete previsti

⁵⁰ (Losa, et al., 2021)

che avessero bisogno di essere compensati con le richieste di risorse energetiche flessibili del DSOTP. In ogni modo, nel successivo periodo sono stati pianificati test che impongano criticità alla rete per controllare l'intera struttura del progetto pilota italiano del Mercato della flessibilità energetica, dalla valutazione dei servizi all'assegnazione dei token per gli utenti.

La prima fase di convalida è stata conclusa e ora per controllare e monitorare l'evoluzione dei risultati del progetto vengono presi in esame i Key Performance Indicator relativi: lo Shared Customer Database calcola automaticamente efficacia e disponibilità delle risorse energetiche flessibili, il primo indicatore stima la quantità dell'elettricità potenziale a disposizione della rete, il secondo invece misura l'efficacia dei servizi richiesti dai System Operator e forniti dalle risorse distribuite, calcolando il rapporto tra quelli richiesti e quelli effettivamente erogati. Altri KPI sono stati concepiti per stimare l'affidabilità di strumenti che prevedano i comportamenti del Pod in termini di scambio di energia nella rete e più in generale dei flussi energetici di alcuni punti strategici della smart grid.

Nella demo del progetto vengono considerati inoltre altre tipologie di utenti e impianti da inserire nella smart grid, come aggregati domestici composti da differenti nuclei familiari, ad esempio i condomini, provvisti di sistemi di accumulo e pannelli fotovoltaici. Il loro coinvolgimento permette di testare le diverse casistiche di autoconsumo, in particolare come l'energia generata in tempo reale tra gli utenti che formano la comunità stessa venga consumata o scambiata in caso di surplus verso l'esterno.

L'uso crescente della blockchain in contesti diversi sta portando verso una crescente consolidazione di questa tecnologia con applicazioni concrete che esulano i mercati speculativi delle criptovalute, con particolare interesse di impiego nel mercato energetico.

4. Business Model

Per l'analisi del Business Model della Apio S.r.l. PMI Innovativa, si è fatto riferimento alle recenti pubblicazioni della letteratura accademica ed alle analisi degli specialist del mondo startup soprattutto di derivazione anglosassone. La definizione utilizzata per la Apio, "Venture Builder" rappresenta una ibridazione delle definizioni date ai Business Model di realtà imprenditoriali identificate come soggetti aggregatori/acceleratori focalizzati principalmente alla produzione sistematica di nuove startup, che aiutano a crescere, a finanziarsi e a raggiungere un livello di maturità manageriale e strutturale tale da poter approdare sul mercato.

Altre definizioni si riferiscono ai corporate venture builders come venture builders che lavorano formalmente o informalmente con aziende consolidate per raggiungere obiettivi aziendali e per avere accesso alle loro risorse⁵¹. Principalmente, in letteratura, i venture builders vengono definiti come una nuova unità esterna di un'azienda⁵². È importante sottolineare che i venture builders operano in modo indipendente come organizzazione nelle loro decisioni, pur rispettando gli interessi dei partner di collaborazione. Le diverse prospettive nella definizione dei venture builders evidenziano le sfide legate alla novità di questo campo di ricerca e illustrano la necessità di ulteriori chiarimenti terminologici⁵³.

4.1 Differenziazione da Acceleratori, Incubatori e Corporate Venture Capital

È altrettanto importante distinguere i venture builders da altre alternative correlate, come acceleratori, incubatori aziendali e venture capital ⁵⁴.

Per quanto riguarda gli acceleratori, Hochberg⁵⁵ li definisce come "un programma a durata fissa basato su obiettivi coordinati, che include mentorship e componenti educative, e culmina in un evento di presentazione pubblica spesso denominato 'demo day'. Gli acceleratori e i loro programmi, come definito, si basano su durate contrattualmente fisse. All'interno di questo programma, gli

⁵¹ (Kitsuta & Quadros, 2022)

⁵² (Kullik, et al., 2018)

⁵³ (Mittermeier, et al., 2022)

⁵⁴ (Gutman & Maisch, 2022)

⁵⁵ (Hochberg, 2016)

acceleratori si concentrano su cinque elementi principali: brevi e a fissa durata, istruzione fornita attraverso consigli commerciali e su prodotti, piccoli team fondatori, supporto di mentorship basato su collaborazione e networking, oltre al finanziamento pre-seed.⁵⁶ Di contro, i venture builders differiscono in diversi aspetti: innanzitutto, i venture builders offrono un approccio olistico per condurre l'intero processo di creazione di impresa, dall'ideazione fino alla scalabilità e potenzialmente all'uscita, mentre gli acceleratori lavorano con imprese già esistenti ma in fase iniziale, con l'obiettivo di accelerare la loro crescita. A questo proposito, il processo dei venture builders è un approccio "ongoing" e richiede più tempo, mentre i programmi degli acceleratori sono intensi ma con durata prestabilita. Un'altra distinzione è che le startup che partecipano ai programmi degli acceleratori sono guidate in coorti, mentre i venture builders non seguono questo approccio⁵⁷.

È importante comprendere la differenza tra gli incubatori aziendali. Colbert et al. (2018)⁵⁸ definisce un incubatore aziendale come "un programma progettato per accelerare lo sviluppo del successo di aziende imprenditoriali attraverso una serie di risorse e servizi di supporto aziendale, sviluppati o orchestrati dalla gestione dell'incubatore e offerti sia nell'incubatore che attraverso la sua rete di contatti". Inoltre, una tipologia consolidata di Grimaldi e Grandi (2005)⁵⁹ distingue quattro tipi di incubatori aziendali: centri di innovazione aziendale, incubatori aziendali universitari, incubatori privati indipendenti e incubatori aziendali privati. L'obiettivo di tutti questi tipi di incubatori aziendali è sviluppare e promuovere l'autonomia e la sostenibilità finanziaria nelle nuove imprese, fornendo mentorship e supporto nella gestione e nelle questioni tecniche, nonché risorse come spazi di lavoro, attrezzature e una rete di opzioni di finanziamento (Colbert et al., 2010; Peter, 2018).

A differenza dei venture builders, gli incubatori aziendali, proprio come gli acceleratori, accolgono team imprenditoriali già formati con idee in fase iniziale e non si concentrano sulla creazione di nuove imprese tramite ideazione interna⁶⁰. Inoltre, a differenza degli acceleratori, la durata del supporto degli incubatori per le startup è più lunga, mostrando somiglianze con i venture builders⁶¹. A differenza dei venture builders (Patel & Chan, 2023), gli incubatori di solito non forniscono finanziamenti, ma solo la giusta rete e la preparazione per ottenere finanziamenti e, pertanto, non vengono remunerati attraverso l'equity, ma guadagnano denaro affittando i loro spazi e servizi.

⁵⁶ (Christiansen, 2009)

⁵⁷ (Patel & Chan, 2023)

⁵⁸ (McDermott, et al., 2018)

⁵⁹ (Grimaldi & Grandi, 2005)

⁶⁰ (Mittermeier, et al., 2022)

⁶¹ (Patel & Chan, 2023)

Infine, il corporate venture capital è un altro metodo di corporate venturing spesso correlato al contesto della costruzione di imprese. Secondo Maula (2001)⁶², il corporate venture capital si riferisce agli "investimenti in capitale proprio o legati al capitale proprio in giovani imprese private, in cui l'investitore è un intermediario finanziario di una società non finanziaria". Questi investimenti mirano a creare un percorso affinché l'azienda che sostiene il corporate venture capital possa accedere all'innovazione e alle nuove tecnologie sviluppate dalle startup. La maggior parte degli investimenti effettuati dai corporate venture capital rientra nella categoria degli investimenti passivi. Ciò significa che l'obiettivo dell'azienda è principalmente finanziario e debolmente legato al supporto operativo per la startup, con conseguente minor apprendimento e adozione in termini di innovazione e nuove tecnologie sviluppate dalle. A differenza dei venture builders, il corporate venture capital lavora con startup già esistenti e, nella maggior parte dei casi, agisce come investitore passivo che raramente è coinvolto nel supporto operativo e nello sviluppo della startup⁶³.

I venture builders si distinguono chiaramente dagli acceleratori, dagli incubatori e dai corporate venture capital per alcune specifiche peculiarità. In primo luogo, offrono un approccio olistico alla conduzione del processo di creazione di imprese con un team interno di imprenditori e potenziali co-fondatori. Gli acceleratori e gli incubatori lavorano solo con team pre-formati, startup e idee esterne già esistenti e agiscono esclusivamente in determinate fasi del processo di creazione di imprese⁶⁴. Di conseguenza, gli autori sostengono che nessuno di questi attori del corporate venturing adotta l'esatto modello di business dei venture builders, ma partecipa piuttosto come sostenitore esterno in determinate fasi del processo di creazione di imprese⁶⁵. In connessione a ciò, l'entità della partecipazione attiva nella creazione e nello sviluppo dell'impresa è molto più elevata nei venture builders mentre gli acceleratori supportano solo le startup esterne per un breve periodo⁶⁶ e gli incubatori si concentrano sulla creazione del quadro imprenditoriale per consentire alle startup di svilupparsi autonomamente⁶⁷, i corporate venture capital agiscono principalmente in modo molto passivo concentrandosi sui rendimenti finanziari.

⁶² (Maula, 2001)

⁶³ (Chesbrough, 2002)

⁶⁴ (Kitsuta & Quadros, 2022)

⁶⁵ (Patel & Chan, 2023)

⁶⁶ (Hochberg, 2016)

⁶⁷ (Kurucz, et al., 2017)

4.1 Classificazione dei Venture Builder

Considerando la classificazione delle attività di corporate venturing, gli autori sostengono che i venture builder potrebbero essere visti come un collegamento tra l'imprenditorialità indipendente e il corporate venturing nel caso di coinvolgimento di un'azienda. A seconda della prospettiva assunta dagli autori, i venture builder dimostrano legami più stretti tra l'imprenditorialità indipendente e il corporate venturing interno o l'imprenditorialità indipendente e il corporate venturing esterno introdotto da Sharma e Chrisman ⁶⁸.

Per quanto riguarda la prima prospettiva, Kitsuta e Quadros ⁶⁹ sostengono che questo tipo di venture building può essere visto come un incubatore aziendale interno con la differenza di lavorare con imprenditori esterni. Al contrario, il venture building può anche essere visto come un'estensione del corporate venturing esterno, soprattutto quando si considera il ruolo del venture capital nel finanziare nuove imprese create dai venture builder dal punto di vista dell'azienda e del venture builder.

Poiché le definizioni di corporate venturing esterno e corporate venturing interno implicano che la differenziazione dipenda dal fatto che la nuova organizzazione aziendale o unità rimarrà entro i confini aziendali o meno⁷⁰, le nuove imprese create attraverso una collaborazione tra un'azienda e un venture builder sono difficili da assegnare a una delle due categorie. Tuttavia, i metodi di corporate venturing esterno sono più in linea con la natura dell'impresa da creare, poiché agirà autonomamente al di fuori del core business della casa madre e non sarà una nuova unità integrata nel core business dell'azienda. Questo è più in linea con un'altra tipologia di corporate venturing illustrata da Weiblen e Chesbrough⁷¹, che classifica il corporate venturing come un modello di coinvolgimento tra aziende e startup dall'esterno all'interno, compresa la partecipazione azionaria. Tale tipologia è più in linea con l'interpretazione secondo cui il venture builder potrebbe essere più correlato al corporate venturing esterno che a quello interno, poiché vede l'obiettivo del corporate venturing nel "partecipare al successo dell'innovazione esterna e acquisire conoscenze strategiche sui mercati non core"⁷².

⁶⁸ (Sharma & Chrisman, 1999)

⁶⁹ (Kitsuta & Quadros, 2022)

⁷⁰ (Sharma & Chrisman, 1999)

⁷¹ (Weiblen & Chesbrough, 2015)

⁷² (Weiblen & Chesbrough, 2015)

Adattamento Strategico

Anche se i venture builder operano in modo indipendente come entità, devono tenere in considerazione gli interessi aziendali quando scelgono di collaborare con loro per sviluppare nuove imprese. Pertanto, gli autori ritengono che sia particolarmente rilevante prendere in considerazione la strategia aziendale e il focus. Il concetto di adattamento strategico emerge dalla teoria della gestione. Secondo Chandler⁷³ e Andrews, il concetto di adattamento strategico è definito come l'abbinamento delle risorse aziendali con le opportunità e le minacce ambientali. Venkatraman e Camillus⁷⁴ affermano che esistono diversi domini di adattamento nella teoria, causati dalle diverse discipline di ricerca attorno alla gestione strategica. L'economia e la gestione strategica si concentrano sull'adattamento legato alla struttura di mercato tra fattori esterni e strategici, mentre il marketing si concentra sulle questioni relative al contenuto e la teoria dell'organizzazione sugli argomenti legati al processo. La teoria della contingenza strutturale si è concentrata sulle relazioni tra ambiente e struttura e non sull'ambiente e la strategia⁷⁵. Nel senso di corrispondenza e allineamento alle nuove opportunità e minacce, la letteratura sulla strategia è multidimensionale e non è chiaro se un'azienda dovrebbe adattare la sua strategia ai cambiamenti ambientali per migliorare l'adattamento o se ciò comporterebbe un disallineamento con i punti di forza dell'azienda. Zajac, Kraatz e Bresser⁷⁶ propongono un approccio che mostra come i fattori organizzativi e ambientali influenzino l'adattamento strategico, il che alla fine porta alle performance organizzative.

⁷³ (Chandler, 1962)

⁷⁴ (Venkatraman & Camillus, 1984)

⁷⁵ (Donaldson & Preston, 1995)

⁷⁶ (Zajac, 2000)

Fondamenti dell'Imprenditorialità Digitale

Per comprendere appieno l'imprenditorialità digitale e il suo contesto operativo, è fondamentale esaminare i suoi quadri definatori e le caratteristiche che la contraddistinguono. Almeno cinque attributi risultano particolarmente significativi:

Innanzitutto, l'imprenditorialità digitale è intrinsecamente legata alla tecnologia, che costituisce il fondamento e l'elemento catalizzatore di questo ambito.

Inoltre, l'ecosistema imprenditoriale digitale gioca un ruolo cruciale. Questo ecosistema può includere sostenitori istituzionali come il governo e le istituzioni accademiche, attori specializzati come gli imprenditori digitali, gli investitori e i fornitori di servizi, nonché operatori di spazi di lavoro condivisi come acceleratori e incubatori⁷⁷. Risulta evidente che l'imprenditorialità digitale è strettamente intrecciata con la tecnologia e l'ecosistema imprenditoriale digitale, creando così una realtà complessa e in continua evoluzione.

Apio S.r.l., emerge come una "venture builder" nel contesto dell'innovazione tecnologica, specialmente nei settori della blockchain e dell'Internet of Things (IoT). La sua posizione di rilievo è giustificata da diverse ragioni chiave, in primo luogo, dispone di un ampio know-how tecnologico nei settori menzionati, che mette a disposizione di altre aziende desiderose di sviluppare soluzioni tecnologiche avanzate. Questo know-how non solo offre un supporto tecnico prezioso ma consente anche ad Apio S.r.l. di collaborare attivamente con altre realtà aziendali per realizzare progetti innovativi. L'azienda agisce come un partner affidabile per accompagnare altre imprese nella creazione e nell'implementazione di soluzioni hardware e software su misura.

Inoltre, si distingue per la sua capacità di svolgere un ruolo di rilievo nella realizzazione di progetti innovativi accanto a grandi aziende consolidate. Grazie alla sua expertise tecnologica, l'azienda può collaborare con queste realtà aziendali per sviluppare e implementare progetti ambiziosi nel campo della blockchain e dell'IoT. Questa sinergia tra Apio S.r.l. e le aziende di maggiori dimensioni consente non solo di portare avanti progetti di ampia portata ma anche di stimolare l'innovazione e l'evoluzione del settore in generale. La capacità di operare in questo doppio ruolo, offrendo supporto tecnico alle imprese e sviluppando progetti di respiro più ampio, ne fa una figura chiave

⁷⁷ (Du & O'Connor, 2018)

nell'ecosistema imprenditoriale del settore: la sua flessibilità e la sua dedizione all'innovazione tecnologica la posizionano in modo distintivo come una vera e propria forza trainante nell'avanzamento delle soluzioni nei campi menzionati.

Apio S.r.l si presenta come un esempio concreto di imprenditorialità digitale che abbraccia rapidamente l'evoluzione tecnologica. Come parte della sua strategia, questa impresa è in costante sintonia con i nuovi sviluppi e le scoperte nel campo tecnologico-informatico. La convergenza tecnologica, che abbraccia internet mobile, intelligenza artificiale e cloud computing, costituisce il terreno fertile su cui l'azienda basa la sua attività.

La sua capacità di riconfigurare modelli di business, processi e sistemi è un segno tangibile del suo impegno per l'innovazione, e grazie all'ampio arsenale di strumenti tecnologici a sua disposizione, l'azienda ha la capacità di operare su scala internazionale. Queste caratteristiche non solo sottolineano il modo in cui Apio S.r.l. pratica l'imprenditorialità digitale ma dimostrano anche come sia posizionata per affrontare con successo le sfide emergenti e capitalizzare sulle opportunità offerte da questo dinamico settore.

All'interno del panorama dell'imprenditoria digitale globale, Apio S.r.l. emerge come un esempio luminoso di come i pilastri del successo possono essere messi in pratica in modo efficace. La chiara visione aziendale rappresenta un punto cardine per Apio S.r.l., poiché la direzione aziendale è fondamentale nel percorso imprenditoriale. La sua leadership dimostra una profonda comprensione della missione e della visione dell'azienda, fornendo una guida chiara in un contesto in continua evoluzione. Un altro pilastro fondamentale è l'abilità di sfruttare appieno la tecnologia, un aspetto nel quale Apio S.r.l. eccelle, data l'intensa concorrenza globale e l'evoluzione costante delle tecnologie, l'azienda sa sfruttare al meglio le risorse tecnologiche a sua disposizione per offrire soluzioni innovative nel campo della blockchain e dell'IoT. La focalizzazione sulla creazione di valore è un altro punto forte di Apio S.r.l. L'azienda è attenta a esaminare l'impatto delle sue soluzioni sui clienti e a valutare il valore intrinseco delle proprie offerte, mettendo in luce la capacità di identificare le esigenze del mercato e di adattarsi di conseguenza. Inoltre, questa società investe in talento e sviluppo, riconoscendo che le competenze e le conoscenze del suo team rappresentano una risorsa inestimabile e che la formazione e lo sviluppo continuo sono parte integrante della cultura aziendale, contribuendo a mantenere l'azienda all'avanguardia nel suo settore. Apio S.r.l. dimostra anche una profonda comprensione dell'ecosistema digitale in cui opera, essendo attenta non solo alle dinamiche interne ma anche a quelle esterne. L'azienda comprende l'importanza di

adattarsi alle condizioni di mercato e alle esigenze dei clienti in evoluzione, consentendo così di identificare opportunità uniche e di prosperare in un ambiente in continua mutazione. In sintesi, attraverso la chiara visione, l'efficace utilizzo della tecnologia, la creazione di valore, l'investimento nel talento, l'ampia conoscenza del contesto e la capacità di adattamento, Apio S.r.l. incarna i pilastri del successo nell'imprenditoria digitale e si posiziona per un futuro di crescita continua e innovazione.

Apio S.r.l., forte della sua esperienza nel settore blockchain, ha sviluppato un approccio strutturato per collaborare in modo efficace con i propri clienti al fine di progettare e implementare soluzioni personalizzate. Queste fasi costituiscono il cuore della metodologia di Apio S.r.l. per l'accelerazione del processo decisionale e la realizzazione di progetti blockchain su misura.

In questo contesto, l'analisi di fattibilità rappresenta il punto di partenza cruciale. Qui, Apio S.r.l. si impegna a collaborare strettamente con il cliente per comprendere appieno le sue esigenze e valutare attentamente la pertinenza della tecnologia blockchain per l'obiettivo desiderato. La creazione di PoC, quando necessaria, costituisce un passo significativo per dimostrare la fattibilità pratica del progetto.

La fase di progettazione e implementazione, o Progetto Pilota, è un ulteriore punto di interazione tra Apio S.r.l. e il cliente. Durante questa fase, Apio S.r.l. mette in atto la soluzione blockchain in base alle specifiche concordate, lavorando a stretto contatto con il cliente per garantire che il progetto rispetti gli obiettivi prefissati. La suddivisione del budget in sprint facilita la gestione delle risorse e riduce i rischi associati al progetto.

Infine, la fase di Roll-Out o Scale Up sottolinea l'impegno continuo di Apio S.r.l. nella collaborazione con il cliente anche dopo la realizzazione del progetto pilota. In questa fase, Apio S.r.l. offre assistenza e manutenzione per garantire che la soluzione sia gestita in modo efficace e che possa essere scalata, se necessario, per soddisfare le crescenti esigenze dell'azienda.

Nel dettaglio questi tipi di progetti devono passare quindi per tre momenti:

- **Analisi di Fattibilità:**

- **Descrizione della fase:** Durante questa fase verrà analizzato lo use-case proposto dall'azienda includendo eventuali PoC se necessari a dimostrare l'uso della tecnologia per il raggiungimento dell'obiettivo.

- **Budget:** Questa attività viene effettuata solamente a fronte di un investimento da parte della committente. Il budget può variare dai 5.000€ ai 20.000€ (in progetti più complessi)

- **Tempi e approccio:** La fase di analisi di fattibilità vede coinvolte le figure dell'azienda con le quali, attraverso una attività di Design Thinking e Rapid prototyping, verificare la sostenibilità del progetto. In questa fase verrà definito il budget per l'iniziativa complessiva.

- **Progettazione Implementazione (o Progetto Pilota):**

- **Descrizione della fase:** Durante questa fase viene analizzato e implementato il progetto complessivo.

- **Budget:** Il budget complessivo potrà essere suddiviso in più sprint così da ridurre il rischio e focalizzare il team di sviluppo sulle attività centrali.

- **Tempi e approccio:** Si preferirà l'adozione di una metodologia "agile" che privilegino il raggiungimento dei primi risultati in tempi brevi.

- **Roll-Out o Scale Up:**

- **Descrizione della fase:** Durante questa fase viene fornita al cliente assistenza e manutenzione su quanto sviluppato nella fase precedente.

- **Budget:** Il budget per questa fase può essere variabile in base all'infrastruttura implementata durante la fase precedente e al livello di servizio atteso.

La sinergia di tecnologie impiegate consente all'azienda di fornire soluzioni complesse e interconnesse che soddisfano le esigenze dei clienti in modo completo e innovativo. Ecco come Apio S.r.l. integra queste tecnologie nella sua strategia di creazione di valore:

1. **Blockchain come fundamenta:** La tecnologia blockchain rappresenta spesso la base su cui vengono costruite le soluzioni di Apio S.r.l. Grazie alla sua affidabilità, sicurezza e trasparenza, la blockchain viene utilizzata per la gestione dei dati critici e delle transazioni, garantendo l'integrità dei dati e la tracciabilità delle attività.
2. **IoT per la raccolta di dati in tempo reale:** L'IoT consente la raccolta di dati in tempo reale da sensori e dispositivi connessi. Apio S.r.l. sfrutta questa tecnologia per acquisire dati rilevanti dai dispositivi fisici, che vengono poi elaborati e registrati sulla blockchain. Questo approccio abilita casi d'uso come la gestione intelligente della supply chain e il monitoraggio remoto di attività industriali.
3. **Cloud Computing per scalabilità ed elasticità:** Il cloud computing offre flessibilità, scalabilità ed elasticità nei servizi e nell'infrastruttura. Apio S.r.l. utilizza servizi cloud per ospitare applicazioni blockchain e IoT, consentendo una rapida scalabilità in base alle esigenze del cliente. Questo approccio garantisce prestazioni affidabili e accessibilità globale.
4. **Analisi dei Big Data per l'Intelligenza Operativa:** L'analisi dei big data è fondamentale per estrarre insights utili dai dati raccolti. Apio S.r.l. implementa soluzioni di analisi avanzate per l'estrazione di informazioni significative dai dati IoT e blockchain, consentendo ai clienti di prendere decisioni informate e ottimizzare le operazioni.
5. **Sicurezza Avanzata:** L'interazione tra queste tecnologie richiede una sicurezza avanzata. Apio S.r.l. si impegna a implementare protocolli di sicurezza robusti e soluzioni di autenticazione per proteggere l'integrità dei dati e garantire la privacy dei clienti.
6. **Interoperabilità:** Apio S.r.l. si sforza di garantire l'interoperabilità tra queste tecnologie. Ciò significa che i dati e le informazioni possono fluire in modo efficiente tra dispositivi IoT, servizi cloud e reti blockchain, creando un ecosistema tecnologico armonizzato.

Apio S.r.l. integra abilmente le tecnologie menzionate per creare soluzioni innovative e su misura per i suoi clienti. Questo approccio multidisciplinare consente all'azienda di offrire un ampio ventaglio di servizi e applicazioni che soddisfano le esigenze tecnologiche e di mercato in costante evoluzione. La combinazione di queste tecnologie all'avanguardia è il fondamento su cui si basa la capacità di Apio S.r.l. di offrire soluzioni complete e competitive ai propri clienti target.

Bibliografia

- Aitzhan, N. Z. & Svetinovic, D., 2018. Security and privacy in decentralized energy trading through multi-signatures, blockchain and anonymous messaging streams. *Trans. Depend. Secure Comput.*, 15(5), pp. 840-852.
- Aitzhan, N. Z. & Svetinovic, D., 2018. Security and Privacy in Decentralized Energy Trading through Multi-Signatures. *Transactions on Dependable and Secure Computing*, 15(5), pp. 840-852.
- Apio S.r.l., s.d. *La Blockchain inquinata... Piantiamola*. [Online]
Available at: <https://www.trusty.id/post/la-blockchain-inquinata-piantiamola>
- Apio S.r.l., s.d. *Software Gestionali per le Filiere Produttive Agroalimentari*. [Online]
Available at: <https://www.trusty.id/soluzioni>
- Bahga, A. & Madiseti, V. K., 2016. Blockchain platform for industrial internet of things. *Journal of Software Engineering and Applications*, Issue 9, pp. 533-546.
- Barroco, F., Borghetti, A., Cappellaro, F. & Carani, C., 2020. *Le Comunità Energetiche in Italia*, s.l.: s.n.
- Bevacqua, S., Comin, S. & Leggio, M., 2020. *Una Storia di Straordinaria Energia*, s.l.: Editoriale La Nuova Ecologia Soc. Coop.
- Bogner, A., Chanson, M. & Meuw, A., 2016. A decentralised sharing app running a smart contract on the ethereum blockchain. *Proceedings of the 6th International Conference on the Internet of Things*, pp. 177-178.
- Buterin, V., 2014. A next-generation smart contract and decentralized application platform.
- Cascinelli, A. F., Bernasconi, A. C. & Monaco, M., 2019. Distributed Ledger Technology e Smart Contract: finalmente è Legge. *Prime riflessioni su una rivoluzione tecnologico-giuridica*.
- Chandler, A. D., 1962. *Strategy and structure: Chapters in the history of the industrial empire*, s.l.: Cambridge Mass.
- Chesbrough, H. W., 2002. *Making sense of corporate venture capital*, s.l.: Harvard business review.
- Christiansen, T., 2009. influence of economic incentives and regulatory factors on the adoption of treatment technologies: a case study of technologies used to treat heart attacks.. *Health economics*, pp. 1114-1132.
- Colombatto, S., 2019. *Analisi energetica del sistema elettrico nazionale e valutazione delle emissioni di CO2 dirette ed indirette della filiera elettrica italiana*, Torino: s.n.
- Commissione Europea, 2022. *Finanziamenti e investimenti blockchain*. [Online]
Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/policies/blockchain-funding>
- Commissione Europea, 2023. *Partenariato europeo Blockchain*. [Online]
Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/policies/blockchain-strategy>
- Crosby, M., Nachiappan, P. P., Verma, S. & Kalyanaraman, V., 2016. Blockchain Technology: Beyond Bitcoin. *Applied Innovation Review*.
- Digiconomist, s.d. *Bitcoin Energy Consumption Index*. [Online]
Available at: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- Donaldson, T. & Preston, L. E., 1995. The stakeholder theory of the corporation: Concepts, evidence, and implications. *Academy of management Review*, 1(20), pp. 65-91.

- Du, K. & O'Connor, A., 2018. Entrepreneurship and advancing national level economic efficiency. *Small Business Economics*, Issue 50, pp. 91-111.
- Fang, X., Misra, S., Xue, G. & Yang, D., 2012. Smart Grid - The New and Improved Power Grid: a Survey. *Communication Surveys and Tutorials*, 14(4), pp. 944 - 980.
- Gai, K., Wu, Y., Zhu, L. & Zhang, Y., 2019. Permissioned blockchain and edge computing empowered privacy-preserving smart grid networks. *Internet Things J.*, 6(5), pp. 7992-8004.
- Gao, J., 2018. Gridmonitoring: Secured sovereign blockchain based monitoring on smart grid. *Access*, Volume 6, pp. 9917-9925.
- Gao, J. et al., 2012. A Survey of Communication/Networking in Smart Grid. *Future Generation Computer Systems*, 28(2), pp. 392-404.
- Grimaldi, R. & Grandi, A., 2005. Business incubators and new venture creation: an assessment of incubating models. *Technovation*, 2(25), pp. 111-121.
- Gunduz, M. Z. & Das, R., 2020. Cyber-security on smart grid: threats and potential solutions. *Computer Networks*, Volume 169.
- Gutman, T. & Maisch, B., 2022. Corporate-VenturingPraktiken im Intrapreneurship und das Potenzial von Corporate Venture Buildern: Von der Idee zum skalierbaren Business in 7. *Intrapreneurship: Unternehmergeist, Systeme und Gestaltungsmöglichkeiten. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin*, pp. 109-131.
- Hochberg, Y. V., 2016. . Accelerating entrepreneurs and ecosystems: The seed accelerator model. *Innovation policy and the economy*, pp. 25-51.
- Hossain, E. et al., 2019. Application of big data and machine learning in smart grid, and associated security concerns: A review. *Access*, Volume 7, pp. 13960-13988.
- Kakran, S. & Chanana, S., 2018. Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 81, pp. 524 - 535.
- Khoa, T. Q., Binh, P. T. & Tran, H. B., 2006. Optimizing Location and Sizing od Distributed Generation in Distribution Systems. *Power Systems Conference and Exposition*, pp. 725 - 732.
- Kitsuta, C. M. & Quadros, R., 2022. The anatomy of a corporate venture builder: Factors influencing failure. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, pp. 1-9.
- Kullik, O., Hölzle, K., Halecker, B. & Hartmann, M., 2018. Company Building—A New Phenomenon of Corporate Venturing?. *The International Society for Professional Innovation Management*, pp. 1-9.
- Kurucz, E. C. et al., 2017. Relational leadership for strategic sustainability: Practices and capabilities to advance the design and assessment of sustainable business models. *Journal of Cleaner Production*, Issue 140, pp. 189-204.
- Li, Z. et al., 2018. Consortium blockchain for secure energy trading in industrial Internet of Things. *Trans. Ind. Informat.*, 14(8), pp. 3690-3700.
- Losa, I. et al., 2021. PLATONE: Towards a new open DSO platform for digital smart grid services and operation. *The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*.
- Maula, M. V., 2001. *Corporate venture capital and the value-added for technology-based new firms*, s.l.: Helsinki University of Technology..

- Maw, A., Adepu, S. & Mathur, A., 2019. Blockchain for operational data security in industrial control system. *Pervasive Mobile Comput.*, Volume 59.
- McDermott, K., Kurucz, E. C. & Colbert, B. A., 2018. Social entrepreneurial opportunity and active stakeholder participation: Resource mobilization in enterprising conveners of cross-sector social partnerships.. *Journal of Cleaner Production*, Issue 183, pp. 121-131.
- Mezzacapo, M., 2018. *L'Enel e il mercato Elettrico Italiano*, Roma: s.n.
- Miller , W. & Senadeera , M., 2017. Social transition from energy consumers to prosumers: Rethinking the purpose and functionality of eco-feedback technologies. *Sustainable cities and society*, Issue 35, pp. 615-625.
- Mistry, I., Tanwar, S., Tyagi, S. & Kumar, N., 2020. Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: a systematic review, solutions, and challenges. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 135.
- Mittermeier, F., Hund, A. & Beimborn, D., 2022. *Entrepreneurial Support Systems in the Digital Era: A Taxonomy of Digital Company Builders*. s.l.:s.n.
- Mittermeier, F., Hund, A. & Beimborn, D., 2022. *Entrepreneurial Support Systems in the Digital Era: A Taxonomy of Digital Company Builders*.. s.l., s.n.
- Mollah, M. B. et al., 2020. Blockchain for future smart grid: A comprehensive survey. *Internet of Things Journal*, 1(18), pp. 18-43.
- Mrabet, Z. E., Kaabouch, N. & Ghazi, H. E., 2018. Cyber-security in smart grid: Survey and challenges. *Comput. Elect. Eng*, Volume 67, pp. 469-482.
- Muzumdar, A., Modi, C., Madhu, G. M. & Vyjayanthi, C., 2021. A trustworthy and incentivized smart grid energy trading framework using distributed ledger and smart contracts. *ournal of Network and Computer Applications*, Issue 183.
- Mylrea, M. & Gourisetti, S. N., 2017. Blockchain for smart grid resilience: Exchanging distributed energy at speed, scale and security. *Proc. Resilience Week*, pp. 18-23.
- Nakamoto, S., 2008. *Bitcoin.org*. [Online]
Available at: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Paludetto, G., Bionda, E. & Soldan, F., 2022. MESP-An Interoperable Platform for Multi-Energy Systems. *AEIT International Annual Conference*, pp. 1-6.
- Patel, P. C. & Chan, C. R., 2023. The influence of differences between venture studios on differences in venture outcomes. pp. 1-19.
- Patel, P. C. & Chan, C. R., 2023. The influence of differences between venture studios on differences in venture outcomes. *Venture Capital*, pp. 1-19.
- Pilkington, M., 2016. Blockchain technology: principles and applications. *Research handbook on digital transformations*, Issue 225.
- Pop, C. et al., 2018. "Blockchain based decentralized management of demand response programs in smart energy grids. *Sensors*, 18(1), p. 162.
- Raval, S., 2016. Decentralized applications: harnessing Bitcoin's blockchain technology. *O'Reilly Media, Inc.*
- S., B., S., C. & M., L., 2020. *Una Storia di Straordinaria Energia*, s.l.: Editoriale La Nuova Ecologia Soc. Coop.

- Sharma, P. & Chrisman, J. J., 1999. Toward a reconciliation of the definitional issues in the field of corporate entrepreneurship. *Entrepreneurship theory and practice*, 3(23), pp. 11-28.
- Silari, F., 1989. La nazionalizzazione elettrica in Italia. Conflitti di interessi e progetti legislativi 1945-1962. *Italia contemporanea*, Issue 177, pp. 49-68.
- Tan, S., Wang, X. & Jiang, C., 2019. Privacy-preserving energy scheduling for ESCOs based on energy blockchain network. *Energies*, 12(8), p. 1530.
- Terna S.p.a, 2019. *Contesto ed Evoluzione del Sistema Elettrico Italiano*, s.l.: s.n.
- Tricarico, L. & Billi, A., 2021. *Come organizzare le comunità energetiche? Un' ipotesi di prospettiva metodologica*, Roma: s.n.
- Venkatraman, N. & Camillus, J. C., 1984. Exploring the concept of "fit" in strategic management. *Academy of management review*, 3(9), pp. 513-525.
- Weiblen, T. & Chesbrough, H. W., 2015. Engaging with startups to enhance corporate innovation. *California management review*, 2(57), pp. 66-90.
- Wood MacKenzie, 2018. *Companies & Applications for Distributed Ledger Technologies on the Grid*. [Online] Available at: <https://www.woodmac.com/es/all-events/gtm-forum-blockchain-in-energy/>
- Wood, G., 2014. Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. *Ethereum project yellow paper*, Issue 151.
- Yan, Y., Qian, Y., Sharif, H. & Tipper, D., 2013. A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges. *Communication Surveys and Tutorials*, 15(1), pp. 5 - 20.
- Zajac, E. J. K. M. S. & B. R. K., 2000. Modeling the dynamics of strategic fit: A normative approach to strategic change. *Strategic management journal*, 4(21), pp. 429-453.
- Zheng, B. et al., 2022. A Peer to Peer Energy Trading Market Embedded with Residential Shared Energy Storage Units. *Applied Energy*, Volume 308.
- Zheng, D. et al., 2018. Smart grid power trading based on consortium blockchain in Internet of Things. *Proc. Int. Conf. Algorithms Architect. Parallel Process*, pp. 453-459.
- Zheng, D. et al., 2018. Smart Grid Power Trading Based on Consortium Blockchain in Internet of Things. *Springer International Publishing*.