



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

Corso di Laurea Triennale in Informatica

Analisi degli NFT nel Metaverso di Decentraland

Relatori:

**Barbara Guidi
Andrea Michienzi**

Candidato:

Francesco Caprari

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Capitolo 1

Introduzione

Negli ultimi anni, Internet è divenuto parte integrante della vita delle persone, così come i dispositivi mobili e le piattaforme sociali. Le tecnologie utilizzate sono cambiate negli anni, passando da un Web1.0, statico e centralizzato, al famoso Web3.0 che rappresenta il futuro di Internet, più vicino all'utente finale e basato sulla decentralizzazione. Il Web3.0 è considerato anche la base per lo sviluppo dell'idea di Metaverso [1] suggerita da Mark Zuckerberg¹. Non esiste una vera e propria definizione del metaverso. Ad oggi, lo si può considerare come una sandbox multiutente in tempo reale in cui individui provenienti da ogni parte del mondo possono connettersi, vivere insieme, socializzare e scambiarsi valore attraverso una rete. Il "Metaverse" appare per la prima volta negli anni 90, nei romanzi di Fantascienza di Neal Stephenson, anche se il concetto era già stato definito come "cyberspazio" nel romanzo di fantascienza di William Gibson del 1984, *Neuromance*, dove viene descritto come un mondo virtuale alternativo generato dal computer in cui le persone, tramite gli avatar, possono condividere ed interagire come se fossero nel mondo reale. Ai giorni d'oggi ci si trova ancora in una fase embrionale dove molte delle piattaforme che hanno acquisito popolarità nell'ultimo periodo sono comunque rivolte ad una nicchia di utenti. Possiamo distinguere tre aspetti che caratterizzano il metaverso. Un aspetto sociale, legato alla comunicazione con gli utenti tramite gli avatar, un aspetto economico, determinato dall'attività finanziaria che si genera grazie agli scambi di risorse digitali, ed un aspetto ludico, collegato alle esperienze di gioco, che rappresenta il motivo principale per cui si partecipa al metaverso. Il metaverso è un universo digitale frutto di molteplici elementi tecnologici, utilizzati per la costruzione di uno spazio virtuale che sia il più immersivo possibile. Le tre principali tecnologie utilizzate sono: *Augmented Reality*(AR), *Mixed Reality* (MR), e *Virtual Reality* (VR). Con la realtà virtuale (VR), l'utente può interagire in prima persona, tramite dei visori, con il mondo virtuale, ed interagire in tempo reale con gli oggetti che lo circondano. La realtà aumentata (AR) invece, fornisce un modo per integrare gli oggetti del mondo fisico all'interno di un mondo virtuale. La *Mixed Reality* (MR) infine, è un nuovo ambiente di visualizzazione, che combina gli aspetti della realtà virtuale con quella aumentata e che ha come base l'interazione tra oggetti virtuali e fisici in tempo reale. L'altra tecnologia fondamentale per il funzionamento di un'applicazione basata sul Metaverso è la **blockchain**. La blockchain

¹<https://www.economyup.it/innovazione/mark-zuckerberg-annuncia-meta-il-video-la-lettera-ai-four>

è una struttura dati condivisa, definita come un registro decentralizzato di blocchi, che sono strutture dati crittografate su cui vengono memorizzate le transazioni. Le transazioni per essere inserite nella blockchain richiedono un processo di validazione chiamato *mining*, che coinvolge una parte dei nodi della rete.

La blockchain è stata introdotta nel 2008 per supportare la prima valuta digitale, il Bitcoin. Negli anni poi ne sono nate altre e tra le più conosciute troviamo quella di Ethereum, che ha introdotto il concetto di smart contract. Uno **Smart contract** è un programma informatico la cui esecuzione è garantita dalla blockchain. Attualmente, la blockchain non rappresenta più un sistema esclusivamente legato alle criptovalute, ma grazie agli smart contract viene utilizzata in diversi ambiti, come nei servizi di autenticazione e per memorizzare i dati sulle transazioni di qualsiasi tipo. All'interno di piattaforme di metaverso, la blockchain viene utilizzata sia per garantire una gestione decentralizzata della piattaforma, sia per la costruzione di un sistema economico basato sui token, sia per gestire la proprietà di beni virtuali. I token rappresentano un aspetto fondamentale per il funzionamento delle piattaforme odierne del metaverso e se ne possono identificare diverse tipologie. Le criptovalute, o token fungibili, sono utilizzate come moneta liquida all'interno del metaverso e possono essere usate per qualsiasi tipo di pagamento. Un token corrisponde ad un insieme di informazioni digitali che memorizziamo all'interno di una blockchain, i token possono essere duplicati infinite volte in copie identiche, infatti prendendo in considerazione le criptovalute, ogni coin avrà lo stesso valore.

L'altra tipologia di token, fondamentale per gestire le proprietà virtuali, sono i Non Fungible Tokens (**NFT**), o token non fungibili. Gli NFT sono un tipo speciale di token che sfrutta la blockchain per garantire un certificato di proprietà di un bene virtuale. Rispetto ai token fungibili, un NFT è unico e indivisibile e non esiste un token uguale all'altro. Gli NFT sono gestiti grazie ad uno smart contract, che conterrà una serie di funzioni per la gestione della creazione e della vendita dei token. Esistono diversi standard per NFT che definiscono il funzionamento dello smart contract e le caratteristiche del token.

I primi casi d'uso degli NFT sono riconducibili all'arte digitale e vengono ancora oggi utilizzati per garantire l'unicità di un'opera d'arte. In seguito, l'utilizzo degli NFT si è esteso a tutti gli ambiti in cui è richiesto un certificato di proprietà digitale di un bene unico, dalle licenze software ai beni del metaverso. Questa tecnologia viene anche impiegata in altri contesi ad esempio per rappresentare la proprietà intellettuale di un brevetto, di una canzone e di tutti quei beni e servizi che necessitano di una certificazione di proprietà. Naturalmente anche il Metaverso sfrutta appieno questo tipo di tecnologia. In un mondo virtuale tutti i beni acquistabili dagli utenti sono NFT e questo permette ad un utente di avere la proprietà certificata di un bene, esattamente come avviene nel mondo reale. L'altro aspetto della blockchain utilizzato nel Metaverso è la Decentralized autonomous organization (**DAO**), ovvero un'organizzazione che gestisce tutti gli aspetti all'interno del mondo virtuale in maniera decentralizzata, garantendo un sistema di controllo ad una community e basando il suo funzionamento sugli smart contract. Tutto ciò che accade nella DAO viene registrato sulla blockchain, per garantire un processo trasparente e immutabile. Il **Metaverso** è un concetto che è costantemente in evoluzione, la sua popolarità è aumentata notevolmente alla fine del 2021 quando Facebook cambiò nome in **Me-**

ta annunciando un cambio di visione orientato a spingere la piattaforma verso un'esperienza più immersiva. Questo fatto ha dato visibilità a molte piattaforme che erano nate negli anni precedenti e ha spinto altre grandi compagnie a sperimentare le possibilità del Metaverso.

Tra tutte le piattaforme ad oggi proposte per il metaverso, **Decentraland** è una delle più mature, e che più si avvicina all'idea del metaverso, definito in precedenza. Si tratta di un'applicazione lanciata nel 2017 da due programmatori argentini ed è basata sulla costruzione di un mondo virtuale, basato sulla **blockchain** di **Ethereum**, completamente decentralizzato e controllato dagli utenti. La mappa del mondo è divisa in zone di piccole dimensioni, chiamati **parcel**, di proprietà degli utenti. I **parcel** sono degli **NFT** basati sullo standard ERC-721 di Ethereum e, se adiacenti, possono essere accorpati in un ulteriore NFT chiamato **estate**. I **parcel** e gli **estate** possono essere utilizzati dai rispettivi proprietari per creare luoghi virtuali, come un museo dove mostrare la propria collezione di NFT, oppure una stanza piena di minigiochi. Oltre ai terreni, un utente può anche acquistare NFT che permettono la personalizzazione del proprio avatar, entrambi sono acquistabili tramite il **MANA** la valuta della piattaforma, ed, essendo un mondo decentralizzato, chiunque possieda dei terreni o del Mana avrà la possibilità di prendere le decisioni sulla governance della piattaforma. Tutta l'esperienza offerta da Decentraland si basa sull'esplorazione della mappa di Gioco, sperimentando le attività offerte dagli altri utenti e comunicando con loro tramite gli avatar. Ogni possessore di un **parcel** può creare qualsiasi tipo di contenuto all'interno del proprio terreno, sia contenuti monetizzabili come casinò, Giochi o eventi musicali, sia contenuti puramente estetici, come mostre d'arte virtuali. La vera differenza con una qualsiasi piattaforma ludica sta proprio nell'utilizzo della blockchain come supporto per ogni aspetto dell'applicazione, dall'acquisto dei terreni alla gestione delle governance del mondo.

La popolarità di Decentraland è aumentata esponenzialmente negli ultimi anni. Questo ha portato ad un aumento notevole del valore dei terreni, che attualmente oscillano tra i 5000 e i 10000 dollari. Anche le grandi multinazionali frequentemente organizzano eventi all'interno del mondo di Decentraland, spesso accompagnati dal lancio di collezioni di NFT, come nel caso delle iniziative organizzate da Samsung² o Heineken.

Lo scopo di questa tesi è quello di comprendere ed analizzare il metaverso di Decentraland attraverso l'utilizzo di grafi, in modo da individuarne proprietà e fenomeni economici. L'aspetto fondamentale che divide Decentraland da altre piattaforme, è la possibilità di possedere beni virtuali, per questo motivo lo studio si concentra sull'ambito degli NFT, focalizzando l'attenzione sull'aspetto economico.

L'analisi si è concentrata sullo studio dei trasferimenti dei terreni di gioco, quindi sui **parcel** e sugli **estate**, facendo un lavoro di raccolta dati sulle transazioni memorizzate nella blockchain di Ethereum. Dopo una fase iniziale di raccolta delle transazioni, i dati sono stati modellati con dei grafi. In particolare, sono stati costruiti quattro tipi diversi di grafi, due per i **parcel** e due per gli **estate**; per ciascuna delle due categorie osservate, un grafo ha trattato solamente le vendite degli NFT e mentre l'altro ha preso in considerazione tutti i trasferimenti. I grafi sono stati poi analizzati per avere una visione più chiara sull'ammontare degli account coinvolti negli scambi

²<https://www.samsung.com/us/explore/metaverse-837x/>

e sul numero di transazioni.

Dallo studio delle caratteristiche delle proprietà dei grafi, sono stati prodotti una serie di grafici per analizzare la natura delle vendite e dei trasferimenti degli NFT, cercando anche di individuare fenomeni malevoli che sfruttano le vulnerabilità dell'applicazione. Una parte dello studio è stata dedicata all'esame dei prezzi di vendita e alle differenze di prezzo tra una vendita e l'altra.

Durante il lavoro di analisi degli scambi che coinvolgono i terreni di Decentraland, siamo giunti a diverse conclusioni. Abbiamo individuato delle problematiche riguardo alcune vendite di NFT, in particolare abbiamo trovato alcuni casi Wash Trading, dove la vendita dell'NFT aveva il solo scopo di gonfiare il valore del terreno, per rivenderlo ad un prezzo più alto del valore reale. Riguardo il funzionamento della piattaforma abbiamo anche identificato degli aspetti che rendono difficoltoso associare un valore ai terreni, in particolare in riferimento alla possibilità di poter vendere un terreno sia singolarmente che in gruppo.

Il resto della tesi è così strutturato. Nel Capitolo 2 vengono approfondite le nozioni fondamentali sul funzionamento della blockchain, andando a focalizzare l'attenzione sulla blockchain di Ethereum e gli NFT. Nel Capitolo 3 introduciamo tutte le caratteristiche sul funzionamento di Decentraland, dei suoi NFT, e delle varie attività disponibili sulla piattaforma. Nel Capitolo 4 presentiamo la parte implementativa della tesi, descrivendo sia gli strumenti utilizzati, sia come abbiamo raccolto i dati necessari per le nostre analisi. Nel Capitolo 5 descriviamo i risultati che sono stati ottenuti. Conclude la tesi il capitolo 6 nel quale presentiamo alcuni possibili lavori futuri.

Capitolo 2

Background

In questo Capitolo introdurremo le nozioni fondamentali relative alla tecnologia blockchain e daremo una descrizione dettagliata dei Non Fungible Token.

2.1 Blockchain

La blockchain è solo una delle possibili implementazioni di Distributed Ledger Technology (DLT) [18]. Un DLT è un sistema che si basa su un registro contabile distribuito che può essere letto e modificato da più nodi di una rete. L'informazione salvata in un DLT è organizzata in *transazioni* che sono da intendersi come operazioni atomiche svolte sul registro contabile. La struttura dati condivisa tra i nodi della rete contenente tutte le transazioni è di tipo append-only, ovvero è solamente possibile aggiungere nuova informazione, ma non è possibile modificare o cancellare informazioni già presenti. Le caratteristiche dei DLT sono le seguenti [12]:

1. Digitalizzazione dei dati
2. Decentralizzazione
3. Disintermediazione
4. Tracciabilità e programmabilità dei trasferimenti
5. Trasparenza e verificabilità
6. Immutabilità del registro

In ogni DLT tutti i nodi della rete mantengono una copia del registro e possono accedervi per operazioni di lettura o scrittura. Le modifiche al registro sono regolate tramite protocolli di consenso [22], ovvero protocolli tramite i quali è possibile raggiungere un accordo tra i nodi di una rete. L'utilizzo di protocolli di consenso uniti ad un ampio uso della crittografia, hanno lo scopo di garantire la sicurezza e l'immutabilità del registro e servono per stabilire secondo quali regole è possibile aggiungere nuova informazione nel registro. La caratteristica principale di una blockchain è, come suggerisce il nome, che le transazioni sono raggruppate in blocchi, e i blocchi sono concatenati in modo da creare una catena ordinata. In altri DLT

invece le transazioni sono salvate in maniera differente. Ad esempio, nei *Tangle* le transazioni sono direttamente collegate tra di loro e formano un Directed Acyclic Graph, ovvero un grafo diretto aciclico. Nel resto della tesi, ci concentriamo solamente sulle blockchain perché rappresentano i DLT più largamente utilizzati sia in scenari accademici che in scenari industriali. Una **Blockchain** è un registro distribuito e decentralizzato di transazioni, la cui integrità è garantita tramite tecniche crittografiche. Alcuni nodi speciali, chiamati *miner*, sono adibiti alla validazione delle transazioni. Dato che la validazione di singole transazioni previene la scalabilità della tecnologia, le transazioni sono generalmente raggruppate in blocchi [21].

2.1.1 Struttura del blocco

Ogni blocco è composta da due parti: l'header e il body. Le transazioni sono raggruppate nel body, mentre nell'header sono presenti diversi campi per la gestione del blocco stesso. Tra questi troviamo il campo *PrevHash* che è un hash di 256 bit che serve per riferire il blocco precedente della catena, un *Timestamp* che rappresenta il timestamp dell'ultima transazione registrata nel blocco e il campo *MerkelRoot* che è un codice hash che fa da radice al merkle tree ricavato dalle transazioni [3].

Grazie alla presenza del campo PrevHash, i blocchi di una blockchain sono concatenati tra di loro ed ogni blocco contiene un collegamento al precedente nella catena. Così tra i blocchi si viene a creare un ordine, anche chiamato *altezza*, dove il primo blocco, chiamato anche blocco genesis, ha altezza 1, il successivo ha altezza 2 e così via. Sebbene la dimensione di una blockchain sia destinata a crescere nel tempo, essa è immutabile poiché il suo contenuto, una volta scritto, non è più né modificabile, né eliminabile, a meno di non invalidare l'intera struttura. Infatti, proprio per il funzionamento del protocollo di validazione, questa modifica richiederebbe il consenso della maggior parte della rete. Le informazioni dell'intera struttura vengono registrate distribuendole tra i nodi partecipanti alla blockchain per garantire sia la sicurezza dell'intero sistema sia che ciascun elemento del registro sia tracciabile e visibile a tutti.

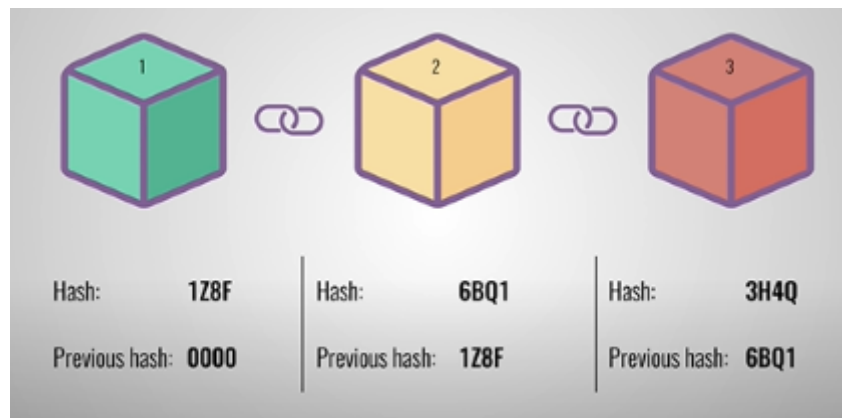


Figura 2.1: Esempio blockchain

Una rappresentazione grafica della blockchain è riportata in Figura 2.1. In Figura viene mostrato il blocco genesis (verde acqua) che ha come particolarità quella di

essere l'unico blocco senza un blocco precedente, per cui il rispettivo campo conterrà un valore arbitrario. Il blocco giallo è il blocco con altezza 2, quindi il suo campo *PrevHash* deve contenere l'hash del blocco precedente, ovvero l'hash del blocco genesis. Tutti i blocchi successivi si collegheranno alla blockchain nella medesima maniera.

2.1.2 Categorie di blockchain

Le blockchain possono essere classificate in due categorie principali: **Permissionless** e **Permissioned**. Nella prima categoria, a qualsiasi utente è consentito partecipare alla blockchain, mentre al contrario nel secondo caso un nodo per fa parte della blockchain deve ottenere il permesso da un'autorità centrale. Entrambe le categorie presentano vantaggi e svantaggi. Le blockchain Permissionless sono considerate più sicure perché ci sono molti nodi che partecipano al processo di validazione, ma questo si traduce in tempi più lunghi di elaborazione delle transazioni. D'altro canto, nelle blockchain Permissioned i tempi di elaborazione saranno più brevi ma la rete sarà più vulnerabile agli attacchi e comunque soggetta ad un'autorità centrale che deve fornire i permessi di accesso alla blockchain. Da questo tipo di classificazione, si possono distinguere diversi tipi di strutture differenti per la blockchain, tra queste:

- **Public Blockchains.** Le Public Blockchains sono naturalmente di tipo *permissionless* e completamente decentralizzate, utilizzate per lo scambio e il mining di criptovalute.
- **Private Blockchains.** Le Private Blockchains sono di tipo *permissioned*, quindi l'accesso alla rete è ristretto ad alcuni partecipanti autorizzati da un autorità centrale che si occuperà dell'ingresso dei nuovi nodi.
- **Consortium Blockchains.** Le Consortium Blockchains sono di tipo *permissioned*, sono amministrate da un gruppo di organizzazioni e pur essendo permissioned cercano di mantenere una blockchain decentralizzata.
- **Hybrid Blockchains.** Le Hybrid Blockchains riprende l'insieme delle caratteristiche della private e della public blockchain, è controllata da una singola organizzazione che decide chi può partecipare alla blockchain, ma comunque sfrutta le caratteristiche della public blockchain per la supervisione e la convalidazione delle transazioni.

2.1.3 Algoritmi di consenso

Per aggiungere una nuova transazione alla blockchain viene eseguito un processo di validazione chiamato **mining** che coinvolge più nodi della rete e che sfrutta un *Consensus Algorithm*. Un Consensus Algorithm è un processo utilizzato per raggiungere un accordo su un singolo valore tra processi o sistemi distribuiti. Tra i protocolli di consenso più utilizzati nelle blockchain troviamo il **Proof of Work** (PoW) [8] che è l'algoritmo utilizzato anche nelle blockchain di Bitcoin ed Ethereum. I miner devono essere in grado di dimostrare di poter risolvere un puzzle matematicamente difficile, e quindi di dedicare una grande potenza computazionale alla blockchain. Molte

blockchain PoW come puzzle adottano l'inversione di una funzione hash crittografica e hanno come obiettivo quello di trovare un valore, chiamato nonce, tale per cui l'applicazione della funzione hash al contenuto del blocco concatenato al nonce, ritorni un risultato che inizia con un dato numero di bit pari a zero. Il numero di bit richiesto per poter ritenere un blocco valido viene anche chiamato "difficoltà" del puzzle, infatti è generalmente più difficile fare in modo che il risultato della funzione hash inizi con molti zeri. Inoltre, dato che il miglior processo risolutivo per questo tipo di puzzle crittografici è quello di andare a tentativi, sarà solo un caso riuscire a risolverlo e l'unico modo per avere più chance di risolverlo è semplicemente avere a disposizione più potenza computazionale per poter provare più nonce. Il primo miner che risolve il puzzle trasmette il blocco, contenente la soluzione, nella rete dove verrà controllato dagli altri nodi, miner inclusi, e se il blocco viene ritenuto ben formato, verrà accettato come blocco successivo nella catena. Questo crea una competizione tra i miner che porta ad un grande spreco di risorse computazionali dato che per la creazione del blocco successivo i miner devono includere l'hash dell'ultimo blocco minato, generando quindi un puzzle nuovo. Per ridurre lo spreco di risorse e il rischio derivato dal fallire ad essere i primi a risolvere una PoW, molti miner possono unirsi insieme in un cosiddetto mining pool, ovvero un gruppo di miner che mettono in comune la propria potenza computazionale e le eventuali ricompense derivate dalla creazione di un nuovo blocco.

Un altro protocollo di creazione di blocchi e di consenso molto utilizzato è il **Proof-of-Stake** (PoS) [7]. Il protocollo PoS sfrutta il concetto di validatori, che impegnano (mediante staking¹) la propria criptovaluta, per prendere parte al processo di creazione di blocchi. Un validatore è scelto a caso per creare nuovi blocchi in base alla quantità di criptovaluta impegnata. Questo è un sistema che sposta la competizione dalla potenza computazionale alla quantità di valuta posseduta, portando ad un processo dove viene sprecata pochissima energia.

Questo protocollo è stato creato per risolvere alcuni problemi con del PoW come:

- **Mancanza di scalabilità e velocità:** Il processo di mining aggiunge un alto livello di latenza per poter approvare le transazioni e produrre nuovi blocchi. Con *PoS* questa situazione viene evitata. Nelle blockchain che utilizzano il protocollo PoS, le verifiche vengono eseguite da nodi con un'elevata holding di monete. In questo modo le verifiche avvengono velocemente, impattando positivamente sulla scalabilità e velocità della rete.
- **L'elevato consumo energetico del processo di mining:** Il processo di mining in *PoW* richiede un'elevata potenza di calcolo, e di conseguenza un elevato consumo d'elettricità. Ma *PoS* cambia questa visione, trasformando il processo di mining in un processo partecipativo. Una partecipazione riflessa nella detenzione di monete o di tempo all'interno della rete. Infatti questo sistema cerca d'incoraggiare i partecipanti ad avere sempre una certa quantità di monete. Il possesso di monete gli consente d'essere scelti dal processo di selezione casuale che viene effettuato per assegnare i compiti. Secondo questo schema, chi ha più riserve, ha maggior peso nella rete e maggiori possibilità

¹lo staking è un modo di guadagnare premi come ricompensa per il fatto che si detengono determinate criptovalute.

di essere eletto. Una volta scelti, possono convalidare le transazioni e creare nuovi blocchi, in modo da ricevere guadagni e incentivi per il lavoro svolto.

- **Il decentramento della rete:** Questo è un problema che colpisce fortemente le reti *PoW* e centralizza la rete nelle mani di pochi. *PoS* cerca di risolvere questo problema, diversificando e democratizzando l'accesso dei partecipanti ai diversi compiti della rete.
- **Previene gli attacchi:** Gli attacchi sono una delle paure nelle reti *PoW*. È sufficiente che un mining pool abbia il 51% della potenza di calcolo per dargli la potenza necessaria per manipolare la blockchain. Ma in un sistema *PoS*, questo è possibile solo se l'attaccante possiede il 51% di tutte le monete. Se l'attaccante effettua un tale attacco, il valore della moneta diminuirebbe repentinamente, e ciò porterebbe ad ingenti perdite economiche per l'attaccante. Questa situazione è utilizzata per prevenire questi attacchi e mantenere la sicurezza della rete.

Ethereum ha annunciato da tempo di voler abbandonare il proprio schema basato su *PoW* per addentrarsi nella *Pos*, mentre altre blockchain come EOS [23] lo hanno già adottato. Esistono poi blockchain come quella di Steem [10] che ne hanno adottato una variante che si ispira alla democrazia rappresentativa, dove i possessori di criptomoneta possono eleggere i loro rappresentanti.

2.2 Ethereum

La Blockchain fu introdotta per la prima volta nel 2009 con la nascita della prima **Criptovaluta**, il Bitcoin [14]. Con il tempo le blockchain si sono evolute, ed è stato possibile applicare la tecnologia anche al di fuori dell'ambito strettamente finanziario. Una delle blockchain più utilizzate al momento è Ethereum [5]. **Ethereum** è una blockchain di seconda generazione basata sulla criptovaluta Ether, ed è molto utilizzata per lo sviluppo di applicazioni decentralizzate di tipo economico e sociale. Una particolarità di Ethereum è l'utilizzo di Smart Contract, creati in un linguaggio Turing-completo chiamato Solidity. Per poter interagire con la blockchain e gli smart contract, gli utenti devono creare delle transazioni, che vengono mandate al *mempool*, ovvero una struttura dati condivisa di transazioni non ancora validate. La validazione delle transazioni può essere fatta solo dai miner, che cercheranno nel mempool le transazioni da validare. Per evitare che la rete venga inondata di transazioni fasulle e rendere l'ecosistema di Ethereum più sicuro, la validazione di una transazione in Ethereum richiede il pagamento di una tassa, chiamata **Gas fee**, che è proporzionale all'ammontare di potenza computazionale richiesta per la sua validazione ed esecuzione [6].

Ethereum essendo molto flessibile e facilitando la creazione di nuove applicazioni, ha permesso lo sviluppo di nuove funzionalità come gli **NFT**, cioè un modo per rappresentare la proprietà di un bene virtuale unico, e le **DAO** un sistema per la gestione decentralizzata di una community. Entrambe queste funzionalità sono sfruttate a pieno da diverse piattaforme sociali, economiche e ludiche, inclusa **Decentraland**.

2.2.1 Smart Contract

La più grande innovazione introdotta da Ethereum è il concetto di smart contract. Gli **Smart Contracts** [13] sono dei contratti scritti sotto forma di codice che consentono a due o più utenti di interagire tra di loro senza la supervisione di un'autorità centrale. Lo scopo principale degli smart contracts è l'esecuzione automatica dei termini di un contratto, sotto opportune condizioni. Per evitare manomissioni gli Smart Contract sono caricati sulla blockchain e quindi copiati su ogni nodo della rete presa in considerazione. Essendo un programma, uno smart contract conterrà le funzioni necessarie per eseguire e controllare gli eventi rilevanti in accordo con i termini del contratto. Si tratta di un vero e proprio programma che elabora in modo deterministico le informazioni che vengono raccolte e garantisce la certezza di un giudizio oggettivo. Ci sono varie possibili applicazioni dove gli smart contract possono essere sfruttati, ad esempio:

- **Smart property** : Il principale caso d'uso degli Smart Contract è l'emissione di token e gli scambi di criptovalute e la gestione e la creazione di NFT.
- **Gestione dei diritti musicali**: un potenziale caso d'uso è registrare i diritti musicali nella blockchain. Uno smart contract può imporre il pagamento ai proprietari ogni volta che la canzone viene utilizzata per scopi commerciali, garantendo inoltre che il pagamento sia distribuito tra tutti i detentori dei diritti.
- **E-commerce**: un ulteriore caso d'uso è facilitare il commercio tra venditore ed acquirente senza l'intromissione di una terza parte, questo sicuramente comporterebbe una riduzione dei costi di trading e inoltre gli smart contract possono rilasciare il pagamento al venditore solo una volta che l'acquirente è soddisfatto del prodotto o servizio ricevuto.

Oltre ad Ethereum, molte altre blockchain permettono lo sviluppo e il deploy degli Smart Contract, come NXT, Binance Smart Chain, o Avalanche.

In Ethereum, gli Smart Contract sono un tipo di account che hanno un saldo e possono inviare transazioni in rete. Inoltre non sono controllati da un utente, ma disponibili ad essere chiamati interagendo con la blockchain.

Gli account degli utenti possono quindi interagire con uno Smart Contract inviando transazioni che eseguono una funzione definita sul contratto. Chiunque può scrivere Smart Contract e distribuirli su Ethereum. È sufficiente saper programmare in Solidity, il linguaggio per Smart Contract usato da Ethereum, ed avere abbastanza Ether per distribuire il contratto. Distribuire uno Smart Contract sulla blockchain comporta la stessa procedura per la validazione di una transazione. Questi contratti sono pubblici su Ethereum ed è possibile che distribuiscano altri contratti. Essi possono essere utilizzati in maniera sicura per eseguire un vasto numero di operazioni: sistemi elettorali, registrazione di nomi di dominio, mercati finanziari, piattaforme di crowdfunding, proprietà intellettuale, e così via.

2.2.2 Account in Ethereum

In Ethereum gli account sono l'entità che posseggono un saldo in Ether e che possono inviare transazioni verso altri account. Ogni account è identificato da un indirizzo di 20 byte a cui vengono associati tre campi: un **nonce** cioè un contatore per assicurarsi che ogni transazione avvenga una sola volta, un conto corrente per mantenere il bilancio in **Ether** e, se presente, il codice dello smart contract. Ethereum ha due tipi di account:

- **Personale**: controllato da chiunque possiede la chiave privata. La creazione di questo tipo di account non costa nulla e ogni account può avviare transazioni con chiunque.
- **Contratto**: ovvero uno smart contract distribuito sulla rete Ethereum. La creazione di un account contract ha un costo poiché viene utilizzato lo spazio di archiviazione della rete (il codice deve essere salvato sulla blockchain per garantire la trasparenza della sua esecuzione). Questi account possono inviare transazioni solo in risposta alla ricezione di una transazione. Le transazioni da un account esterno a un account contratto possono comportare l'esecuzione di parti di codice, che a loro volta portano all'esecuzione di azioni come il trasferimento di token o la creazione di un nuovo contratto.

Entrambi questi account hanno la possibilità di ricevere, conservare e inviare ETH e token e possono anche interagire con gli smart contract.

2.2.3 Transazioni Ethereum

Per transazione ci si riferisce ad una azione iniziata da un **external** account, quindi non da un Contract, che va a modificare lo stato della blockchain di Ethereum. Una transazione contiene diversi campi, tra cui i più importanti sono:

- **Destinatario**: l'indirizzo dell'account del Destinatario
- **Mittente**: l'indirizzo dell'account del mittente
- **ETH value**: l'ammontare di Ether da trasferire
- **data**: dati opzionali aggiuntivi
- **gasLimit**: il limite massimo di Gas che si è disposti a consumare in questa transazione, quindi il limite computazionale.
- **maxPriorityFeePerGas**: il massimo ammontare di Gas come pagamento per il miner.
- **maxFeeperGas**: la massima quantità di Gas pagabile per la transazione.

Solo gli external account possono creare nuove transazioni e il loro significato dipende dal destinatario della transazione stessa. Infatti le transazioni verso account esterni comportano solamente l'invio di Ether. Invece le transazioni verso i Contract corrispondono a delle chiamate che comportano l'esecuzione del codice per

completare le azioni richieste, come il trasferimento di un token o la creazione di un nuovo Contract. Per specificare quale funzione chiamare e con quali parametri chiamarla, viene utilizzato il campo `data`. Quando una transazione è stata verificata gli viene assegnato un **transaction hash** cioè è una stringa di caratteri che la identifica in maniera univoca. Il Gas in **Ethereum** è un unità di misura utilizzata per misurare la computazione svolta per effettuare una transazione e per misurare il lavoro svolto da Ethereum, quindi ogni richiesta alla rete di Ethereum prevede una commissione per far sì che la transazione vada a buon fine. Ogni operazione avrà un costo fisso calcolato in **GAS** e la somma di tutte le operazioni ci darà il valore finale per il completamento della transazione che verrà pagato comunque in Ether. Questo tipo di meccanismo è essenziale per contenere azioni malevole o sprechi computazionali. Ethereum si avvale di una macchina virtuale Turing completa chiamata **EVM** (Ethereum virtual machine) per la personalizzazione e la creazione degli Smart Contract, ogni nodo della blockchain di ethereum esegue una implementazione dell'EVM, in particolare vengono scritti gli Smart Contract in un linguaggio di alto livello chiamato Solidity e il codice risultante viene compilato e distribuito sui nodi della blockchain per essere eseguito dall'EVM.

2.2.4 Token ERC-20

Una delle più importanti opportunità che hanno fornito gli Smart Contract su Ethereum è la possibilità di fatto di poter implementare le proprie criptovalute. Le criptovalute sono delle valute digitali basate su una rete peer-to-peer e su protocolli crittografici che sfruttano la blockchain come database per le transazioni finanziarie, dove ogni frazione della criptovaluta è un **token** cioè un insieme di informazioni digitali memorizzati all'interno della blockchain che conferiscono un diritto ad un determinato soggetto. Data l'importanza delle criptovalute nello scenario dei servizi decentralizzati, Ethereum fornisce uno standard, chiamato (ERC-20).

ERC-20 [17],[19] è un'interfaccia per smart contracts che consente di standardizzare l'interfaccia per la creazione e l'emissione di nuovi token digitali sulla blockchain. Per modificare o spostare un token ERC-20, un utente deve possedere Ether e deve interfacciarsi con lo smart contract. L'obiettivo dei token ERC-20 è progettare uno standard per creare interoperabilità e compatibilità tra i differenti token e promuovere miglioramenti nell'ecosistema Ethereum.

Le principali caratteristiche che rendono questi token uno standard fondamentale in Ethereum sono le seguenti:

1. Tutti i token hanno un nome o un identificatore e un simbolo associato. Grazie a questi due valori è possibile identificare e differenziare i token l'uno dall'altro all'interno della blockchain.
2. I token sono in grado di gestire gli aspetti economici di base della sua emissione. Possiamo trovare nella sua struttura dati, delle informazioni fondamentali, come il sistema di precisione decimale e l'emissione totale dei token.
3. Gestisce un'interfaccia per controllare e rivedere i bilanci degli indirizzi dei suoi proprietari. In questo modo il token ci consente di ottenere il saldo totale dei fondi di uno specifico indirizzo.

4. Permette di gestire il sistema di trasferimento in modo nativo. Questo grazie al fatto che i token possiedono delle funzioni per gestire autonomamente i trasferimenti di fondi da un indirizzo all'altro, permettendo anche prelievi parziali.

2.3 Non Fungible Token (NFT)

Grazie all'introduzione degli smart contract è stato possibile implementare sulla blockchain servizi e risorse sempre più complessi ed articolati. In particolare, una delle risorse più promettenti al momento, che sta trovando scenari di applicazione in ambiti sociali, culturali, videoludici ed industriali, è quella dei Non Fungible Token (NFT). Un NFT [9] è un token utilizzato per identificare in maniera univoca un bene digitale o fisico sfruttando le proprietà garantite della blockchain e dagli smart contract. Un NFT è unico ed indivisibile e può essere utilizzato in diversi scenari spesso legati alla proprietà di un bene digitale, ad esempio per i pezzi d'arte, licenze software o, come nel caso di Decentraland, per terreni virtuali. Gli NFT si differenziano per alcune caratteristiche chiave rispetto ad un token fungibile (FT), come lo sono le tradizionali criptovalute (ad esempio, bitcoin o ether) o le monete legali (ad esempio, dollaro o euro). Nel caso dei FT, ogni token o moneta vengono considerati uguali ad ogni altro token simile e possono essere frazionati a piacimento senza perdere il loro valore. Ad esempio, un bitcoin potrebbe essere diviso in due token da 0.5 bitcoin l'uno, ed ognuno dei due token avrebbe sempre lo stesso valore. Invece un NFT rappresenta la proprietà di un oggetto (fisico o digitale) all'interno di una blockchain. Se la controparte delle criptovalute nel mondo offline sono le monete legali, la controparte degli NFT nel mondo offline sono i certificati di proprietà. Un NFT generalmente contiene le seguenti informazioni: un codice identificativo dell'NFT, il proprietario corrente ed un insieme di metadati. I metadati dell'NFT sono espressi tramite un oggetto JSON che contiene una stringa descrittiva dell'NFT, un link al contenuto media associato all'NFT (ad esempio, un'immagine o una gif animata) e delle caratteristiche aggiuntive che aiutano a descrivere il token. Dato che il codice identificativo di un NFT non è di per se unico, gli NFT vengono raccolti in collezioni. Ogni collezione è gestita da uno **smart contract**, che naturalmente è distribuito sulla **Blockchain**, e la coppia formata da indirizzo del contratto e codice identificativo dell'NFT, identificheranno univocamente ogni NFT. Lo smart contract di una collezione di NFT conterrà una serie di funzioni per la gestione dei vari token che fanno parte della collezione, tra cui metodi per creare nuovi token e per cambiare il proprietario.

Grazie alla loro diffusione sono stati creati diversi standard per gli NFT:

- **Ethereum Standard**, la piattaforma Ethereum, nel 2017, è stata la prima ad introdurre il concetto di NFT con il protocollo EIP-721. Questo protocollo definisce uno standard chiamato **ERC-721** utilizzato per creare dei token unici che si differenziassero dai classici token che seguivano lo standard ERC-20 (una tipologia di token fungibili implementati tramite smart contract). Lo standard ERC-721 contiene un'interfaccia che permette ad uno smart contract di implementare una collezione di NFT. Tramite l'interfaccia, gli utenti possono creare

e scambiarsi gli NFT della collezione. Ognuno di questi token è identificato in maniera univoca all'interno della collezione da un intero di **256 bits** memorizzato all'interno dello smart contract, quindi non modificabile, che gli viene assegnato al momento della creazione. L'interfaccia proposta dall'**ERC-721** contiene diverse funzionalità per trasferire l'NFT agli account di Ethereum e per interrogare lo smart contract riguardo il numero di NFT che possiede ogni account. Un altro standard di Ethereum è l'**ERC-1155**, chiamato anche **Multi token standard**. Tramite l'interfaccia fornita, si possono creare token semi-fungibili, ovvero NFT dei quali esistono un determinato numero di copie in circolazione. Per identificare questi token semi-fungibili è necessario, oltre all'indirizzo del contratto ed il codice identificativo dell'NFT, un numero seriale che associa il token ad una delle copie circolanti dell'NFT. Infine l'ultimo standard presente è l'ERC-998, questo standard dà la possibilità di raggruppare i token che seguono ERC-721 e l'ERC-20 in una unica struttura in modo tale da semplificare la gestione dei token.

- **Non Ethereum Standard**, oltre ad Ethereum altre piattaforme hanno proposto diversi standard. **Flow** utilizza uno standard per gli NFT che sfrutta degli smart contract aggiornabili. Gli autori in accordo tra loro possono proporre delle modifiche al contract e una volta raggiunto un compromesso viene tutto registrato nella blockchain. Un altro standard è l'**FA2** che fornisce un'API standard per creare e trasferire i token e permette anche la creazione di smart contract personalizzati. Tra le altre blockchain che supportano la distribuzione e la creazione di NFT ci sono anche le blockchain di EOS e di WAX.

2.3.1 Attacchi agli NFT

Il fatto che gli NFT si basino su blockchain e smart contract non li rende immuni ad attacchi ed altre attività di persone malintenzionate. Infatti gli NFT possono essere soggetti a diversi tipi di attacchi, tra cui truffe o tentativi di phishing che attirano utenti ignari in attacchi di ingegneria sociale, oppure attacchi che cercano di sfruttare le vulnerabilità delle piattaforme di trade degli NFT. Uno dei casi che ha avuto maggiore risonanza mediatica riguarda un attacco di phishing sulla piattaforma Open Sea, una delle piattaforme più popolari per lo scambio di NFT. Gli utenti vittima dell'attacco si sono visti sottrarre molti NFT che sono stati venduti per una quantità di Ether pari a 1.7 milioni di dollari. Una delle truffe più popolari riguardanti il mondo NFT è lo **Wash Trading** che consiste in attività di compravendita fittizie dello stesso NFT che hanno lo scopo di far aumentare il prezzo di vendita, la visibilità e l'interesse degli utenti verso un dato NFT. Dato che gli NFT si basano sulla tecnologia blockchain, ne ereditano le debolezze e gli attacchi. In particolare il **51% attack** consiste in un attacco nel quale un gruppo di indirizzi controlla più del 50% della risorsa usata nella blockchain per il processo di mining (potenza di calcolo nella PoW, moneta circolante nella DPoS). Quando si verifica un attacco, l'attaccante sarà in grado di creare blocchi più velocemente di quanto non riesca a fare tutto il resto della rete, permettendogli di modificare i blocchi salvati nella blockchain.

Capitolo 3

Decentraland

In questo Capitolo, andremo ad introdurre il concetto di Metaverso e la piattaforma Decentraland, l'applicazione decentralizzata che rappresenta ad oggi uno degli esempi più famosi di Metaverso. La piattaforma è l'oggetto di questa tesi. In particolare, andremo a descrivere le sue caratteristiche e il funzionamento del Marketplace utilizzato per la compravendita degli NFT, utilizzati nella piattaforma per implementare sia la mappa che altri oggetti, quali il vestiario e altro.

3.1 Metaverso

Il concetto di Metaverso [15] è stato espresso per la prima volta nel romanzo del 1992 dello scrittore di fantascienza Neal Stephenson, "Snow Crash", ma il concetto era stato precedentemente definito come "cyberspazio" nel romanzo di fantascienza di William Gibson del 1984, Neuromancer. Come già introdotto precedentemente, il metaverso è un concetto creato come risultato della combinazione della parola "meta" e "universe". La parola può essere tradotta direttamente come "oltre l'universo, oppure altro universo". Tuttavia, ci sono definizioni più complete ed esplicative di metaverso in letteratura. Il Metaverso può essere definito come una sandbox multiutente in tempo reale in cui individui provenienti da ogni parte del mondo possono connettersi, vivere insieme, socializzare e scambiarsi valore attraverso una rete (Corwen, 2021[1]). Il metaverso è quindi un mondo alternativo generato dal computer in cui le persone possono condividere e interagire come se fossero nel mondo reale. Oggi, il metaverso è uno spazio virtuale in cui le persone interagiscono socialmente ed economicamente utilizzando avatar (rappresentazioni virtuali), superando i vincoli del mondo reale, come tempo e distanza. SecondLife, Fortnite, Minecraft, e Roblox sono esempi di giochi cooperativi e di costruzione di mondi che incorporano caratteristiche del metaverso nei loro giochi. Su queste piattaforme gli utenti possono lavorare nel mercato virtuale, interagire con gli altri, partecipare a eventi e ricevere denaro per prodotti e servizi digitali (Clemens, 2022). Una piattaforma che vuole realizzare un mondo virtuale deve possedere delle caratteristiche chiave. Innanzitutto ci deve essere un'evoluzione in tempo reale del mondo virtuale, gli utenti devono poter interagire tra loro e con gli oggetti presenti nella mappa in tempo reale. Ogni utente deve poter socializzare, conoscere nuove persone, costituire delle community e avere il diritto di partecipare alla gestione del mondo di gioco. Per la costruzione di

un Metaverso [1] spesso ci si affida a delle tecnologie che integrano la realtà virtuale per la costruzione di uno spazio virtuale che sia il più immersivo possibile. Le tre principali sono L'Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR) e la Virtual Reality (VR). Con la realtà virtuale (VR), l'utente si interfaccia al mondo virtuale grazie a dei visori con cui può osservare in prima persona il mondo e interagire in tempo reale con gli oggetti virtuali che lo circondano, la realtà aumentata (AR) invece, fornisce un modo per integrare gli oggetti del mondo fisico all'interno di un mondo virtuale. La Mixed Reality (MR) infine, è un nuovo ambiente di visualizzazione che combina gli aspetti della realtà virtuale e aumentata e che ha come base l'interazione tra oggetti virtuali e fisici in tempo reale. L'altra tecnologia fondamentale per il funzionamento del Metaverso è la blockchain. All'interno di piattaforme di metaverso, la blockchain viene utilizzata sia per garantire una gestione decentralizzata della piattaforma, sia per la costruzione di un sistema economico basato sui token, sfruttando le criptovalute come moneta di scambio e gli NFT per certificare il possesso di beni virtuali. Ai giorni d'oggi ci si trova ancora in una fase embrionale e molte delle piattaforme che hanno acquisito popolarità nell'ultimo periodo sono comunque rivolte ad una nicchia di utenti. Tra le piattaforme di metaverso più mature troviamo HyperVerse, SandBox, e Decentraland.

3.2 Che cosa è Decentraland

Decentraland [16] è una piattaforma virtuale che cerca di ricreare un mondo digitale, oggi definito come Metaverso, dove gli utenti possano interagire, socializzare tra loro, creare e monetizzare contenuti e applicazioni. Tutto è in mano alla community che ha il pieno controllo delle creazioni e del mondo che li circonda. Infatti, Decentraland rappresenta oggi, uno degli esempi più famosi di Metaverso. La piattaforma è stata creata da due sviluppatori argentini Arui Meilich ed Esteban Ordano nei primi mesi del 2015, ma è stata resa pubblica solo a Febbraio del 2020. Per accedere a Decentraland è necessario creare il proprio **avatar**, che verrà utilizzato all'interno della piattaforma per esplorare la mappa di gioco e comunicare con gli altri utenti. La mappa è divisa in terreni di piccole dimensioni chiamati **parcel**. I parcel sono di proprietà degli utenti, che decideranno quale tipo di contenuto ospitare all'interno del proprio territorio, cercando di creare un'esperienza monetizzabile che catturi l'interesse degli altri utenti. Infatti ogni parcel può essere personalizzato dal proprietario, il quale potrà costruirci qualsiasi edificio o scenografia. Non esistono limiti alle attività che si possono creare, dagli eventi live come concerti o conferenze, fino ad arrivare ai casinò o ai musei d'arte, incluse attività interattive come minigiochi. Gli utenti, in accordo con altri membri della piattaforma, hanno anche la possibilità di costituire delle community che seguano una linea comune sui contenuti da portare, creando delle vere e proprie città virtuali con stili e attività differenti.

Decentraland basa molti aspetti cruciali del suo servizio sulla blockchain di Ethereum. Tutti gli oggetti acquistabili dagli utenti, tra cui i parcel, sono modellati come NFT (standard ERC-721) registrati sulla blockchain. Altri esempi di beni rappresentati come NFT sono gli oggetti indossabili per la personalizzazione degli avatar e i nomi degli utenti sulla piattaforma. Per la gestione degli NFT la piattaforma si avvale di numerosi smart contract, uno per ogni tipo di bene rappresentato, che

consentono la creazione e il trasferimento dei token. Inoltre, la piattaforma utilizza anche un token fungibile (standard ERC-20) chiamato **MANA**. Il MANA è la criptovaluta ufficiale e liquida della piattaforma, che può essere usata all'interno del Marketplace per acquistare, oltre ai terreni, anche gli altri NFT offerti da Decentraland.

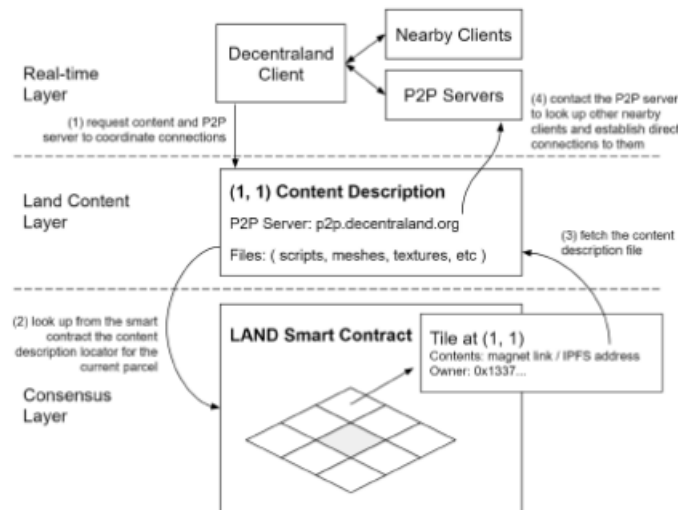


Figura 3.1: Funzionamento dell'architettura di Decentraland

L'architettura che sta dietro al funzionamento di Decentraland è formata da tre livelli, come mostrato in Figura 3.1:

- **Consensus layer:** questo è il livello che tiene traccia della proprietà e del contenuto dei terreni. I client di Decentraland si connettono al network di Ethereum per recuperare gli aggiornamenti sullo stato dello smart contract dei terreni.
- **Land content layer:** Decentraland utilizza un sistema di storage decentralizzato per distribuire le risorse necessarie per il rendering del mondo di gioco. Per ogni parcel che deve essere mostrato, esiste un riferimento ad un file con la descrizione del contenuto del parcel che viene recuperato dallo smart contract dei parcel. Questo sistema di distribuzione decentralizzato consente a Decentraland di funzionare senza la necessità di qualsiasi infrastruttura server, poiché gli utenti stessi si occupano dell'hosting dei file accollandosi anche i costi di gestione. I nodi che si occupano di questo layer si chiamano catalyst nodes e devono essere approvati dai membri della piattaforma.
- **Real-time layer:** questo livello si occupa di far comunicare gli utenti tra loro. Nel caso di Decentraland i Client comunicano tra loro stabilendo una connessione peer-to-peer, con l'aiuto di server controllati da terze parti o dagli stessi proprietari dei terreni. La connessione stabilita tra i client è fondamentale per la gestione delle feature che permettono le interazioni sociali tra gli utenti, come la chat vocale, la posizione degli altri utenti nella mappa o l'interazione con l'ambiente virtuale.

3.2.1 Parcel

L'intero mondo di Decentraland è suddiviso in **parcel**, identificati da coordinate cartesiane (x,y), che corrispondono a quadrati di terreno di dimensione 16x16m. I parcel sono di proprietà permanente dei membri della community e sono effettivamente NFT che seguono lo standard ERC-721. Inizialmente i parcel sono stati distribuiti nel mese di Dicembre 2017, durante il quale ha avuto luogo il "Terraform acution", ovvero un'asta a partecipazione controllata per la prima distribuzione degli NFT. Su un totale di 90000 parcel, ne furono venduti 70000, con solamente 3000 utenti partecipanti. I parcel possono essere attualmente acquistati utilizzando MANA sul marketplace di Decentraland o sulla piattaforma OpenSea¹.

Una volta acquistato un parcel si possono creare diversi contenuti chiamati **Scene**. Una Scene è un'esperienza (interattiva e non) creata all'interno del parcel, come ad esempio un gioco, una galleria d'arte o qualunque cosa un utente voglia ricreare. Per realizzare il proprio contenuto si possono sfruttare gli strumenti di building (descritti in Sezione 3.3) messi a disposizione dall'applicazione, personalizzando il proprio terreno a piacimento, ricreando qualsiasi tipo di ambiente. Possiamo distinguere tre tipi di parcel:

- **Plaza e Road** Le piazze sono le aree della mappa in cui i giocatori si rigenerano non appena accedono alla piattaforma. Dato che sono zone naturalmente molto trafficate dai giocatori, i parcel limitrofi alle piazze sono quelli che generalmente sono venduti a prezzi molto elevati. Le strade sono zone che favoriscono lo spostamento all'interno della mappa di gioco. Esiste anche un servizio di autobus per spostare velocemente i giocatori lungo le strade. Le piazze e le strade sono dei parcel molto unici nel loro genere perché, dato il loro ruolo particolare, sono controllati da account interni alla piattaforma, non sono vendibili, e nessuno può costruirci niente sopra.
- **District** I distretti sono delle zone nella mappa controllate dalla community e sono generalmente destinate ad ospitare qualche tipo di progetto. Possono variare di dimensione e ognuno di essi ha uno scopo e uno stile differente. Ogni distretto ha le proprie regole e la propria governance decentralizzata ed affidata alla community attraverso una DAO. Tra i Distretti più importanti troviamo, ad esempio, l'Aetheria District, che con 8000 parcel è il più grande. Lo scopo del distretto è di ricreare una città intera a tema cyberpunk, completa di edifici ed attività in tema. Degno di nota è anche il Fashion Street District, che è appunto il distretto della moda, dove sono presenti dei negozi virtuali dei marchi più famosi in cui è possibile acquistare gli NFT per la personalizzazione dell'avatar. I parcel che compongono i distretti sono in genere assegnati tramite proposte della comunità di Decentraland. Gli utenti possono partecipare a questi progetti, in accordo alle regole dettate dalla community che gestisce il distretto.
- **Altri parcel** Tutti gli altri parcel sono liberi e possono essere acquistati e venduti liberamente da qualsiasi utente. Non sono legati ad attività o funzionalità particolari, perciò il proprietario può farne ciò che vuole.

¹Un noto marketplace per NFT di ogni topologia.

3.2.2 Estate

LAND Estates è una funzionalità di Decentraland che consente di accorpare due o più parcel in un'unica entità chiamata *estate*. I parcel che vengono raggruppati in estate devono essere direttamente adiacenti e non possono essere separati da strade, piazze o altri parcel appartenenti ad altri utenti. Gli estate sono particolarmente utili quando un utente intende gestire un insieme di parcel, ad esempio quando vuole vendere dei parcel in blocco oppure quando desidera costruire grandi strutture che si estendono su più di un parcel. Quando un utente decide di creare un nuovo Estate, viene creato un nuovo NFT che segue sempre lo standard **ERC-721**, ma l'utente non risulterà il proprietario dei singoli parcel che lo costituiscono. Quindi nel proprio wallet l'utente non vedrà più i singoli parcel, ma vedrà solamente il nuovo NFT associato all'estate che rappresenta l'insieme di parcel.

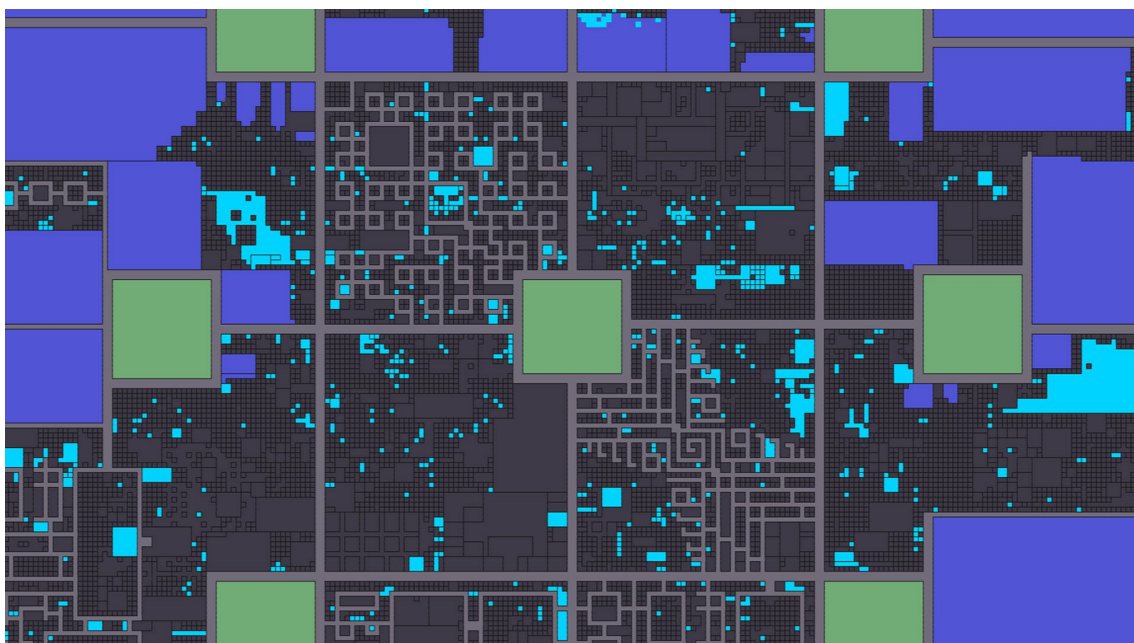


Figura 3.2: Spaccato della mappa di Decentraland.

Uno spaccato della mappa è riportato in Figura 3.2. I parcel sono colorati secondo un codice-colore: le zone **verdi** sono le piazze di rigenerazione degli utenti, le zone in **grigio chiaro** sono le strade, in **blu scuro** sono rappresentati i parcel che compongono i distretti, in **azzurro** le zone attualmente in vendita nel marketplace ufficiale, infine le zone rimanenti sono parcel attualmente posseduti dagli utenti. La mappa mostra anche la presenza di estate, per i quali sono omessi i bordi comuni dei parcel che li compongono.

3.2.3 Prezzo di vendita di parcel ed estate

Quando un parcel o un estate vengono messi in vendita, il loro prezzo è generalmente influenzato da alcuni fattori:

- **Posizione:** Probabilmente si tratta del fattore che incide maggiormente sul prezzo di parcel ed estate. Infatti parcel ed estate che sono adiacenti o limitrofi

a piazze, strade, o distretti di rilievo sono zone che più comunemente verranno viste dai giocatori di Decentraland. Intuitivamente, è più facile capitare in un parcel se questo è vicino ad un altro luogo di interesse, piuttosto che se il parcel è isolato e lontano da altre attività note. Per questo motivo, tanto più il parcel o l'estate si trova in una zona frequentata dagli utenti e ad alta visibilità, più alto sarà il suo prezzo.

- **Grandezza:** Il prezzo di acquisto di un estate varia in base alla sua dimensione. Infatti, a parità degli altri parametri, un estate con molti parcel ha molto più valore rispetto ad un estate con pochi parcel.
- **Popolarità della piattaforma:** La popolarità del gioco stessa può portare ad un aumento dei prezzi o alla creazione di nuovi parcel, con conseguente cambio di valore dei parcel già esistenti.

3.3 Building

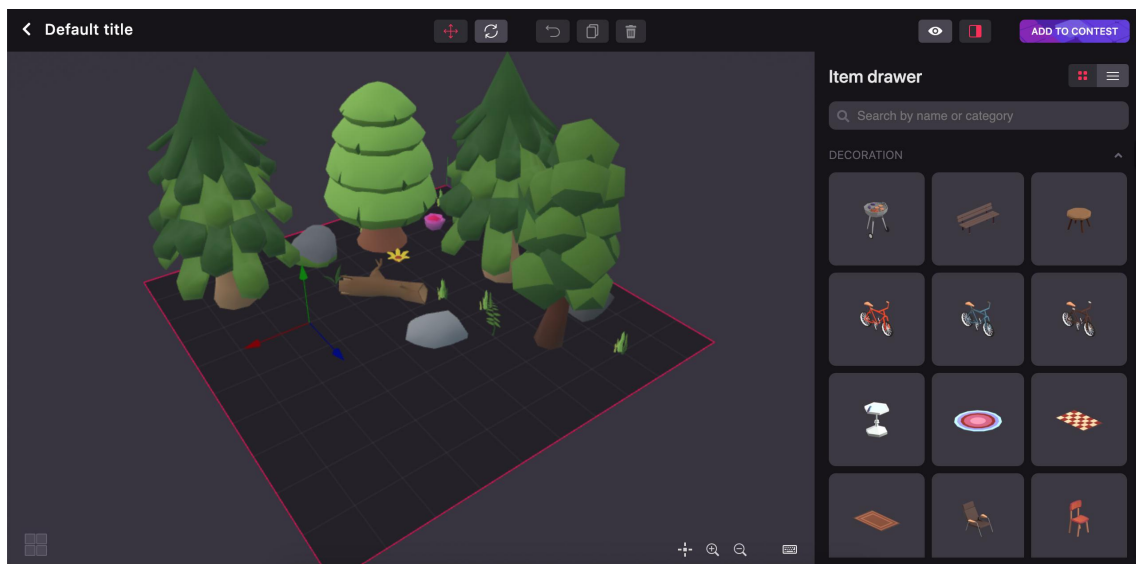


Figura 3.3: interfaccia del tool

Una delle meccaniche di Decentraland più importante è la costruzione di edifici ed altre attività interattive sui parcel posseduti. La piattaforma Decentraland mette a disposizione uno strumento, chiamato *builder tool*, per creare le proprie **scene**, utilizzabili per personalizzare il proprio parcel o per essere rese pubbliche agli altri proprietari.

Le scene possono essere create sia per i singoli parcel sia per gli estate. Al momento della progettazione l'utente potrà scegliere la dimensione del territorio su cui costruire la scena. Decentraland permette di modificare ogni aspetto del territorio, dalla scelta del tipo di terreno all'inserimento di oggetti e strutture per migliorarne l'estetica. Oltre agli oggetti base per la personalizzazione forniti dalla piattaforma, Decentraland permette anche di inserire i propri NFT come parte integrante della

scene. Infatti, tutti gli NFT supportati da OpenSea possono essere mostrati all'interno delle proprie strutture inserendoli in dei display appositi. Questo permette di creare molto facilmente delle gallerie d'arte di NFT attualmente in possesso da parte di un utente. Il tool fornito è molto semplice si tratta di un "drag and drop editor" che non richiede conoscenze di programmazione. Oltre al builder tool, è possibile anche utilizzare il Decentraland SDK per importare, generare e modificare modelli 3D. Inoltre, tramite SDK è possibile anche creare di scene più avanzate ed interattive, come minigiochi o slot machine. Per poter usare proficuamente l'SDK è necessario avere una certa esperienza nella programmazione in linguaggio Typescript. Nella Figura 3.3 l'interfaccia dell'editor.

3.4 Investire nei Land e Le Multinazionali nel metaverso



Figura 3.4: Pubblicità in una parcel che si trova davanti ad una piazza

Esistono varie attività per sfruttare al meglio i propri terreni all'interno del Metaverso di Decentraland. Una volta acquistato un parcel, una delle attività più frequenti è utilizzare il builder tool per creare una sorta di museo sul proprio terreno. In questi musei è possibile pubblicizzare la propria collezione di NFT, costruendo delle strutture per ospitare le opere digitali e inserendo dei link che riportano alle piattaforme di vendita come OpenSea. Questo permette di dare più visibilità ai propri NFT, e possibilmente ci permette di trovare facilmente degli acquirenti, sfruttando l'esperienza immersiva offerta da Decentraland. Un altro modo per impiegare i propri terreni in maniera attiva, soprattutto se collocati in zone ad alta visibilità limitrofe a piazze, strade o ai distretti di maggior rilievo, è quello di utilizzarli per servizi di marketing, mettendo a disposizione spazi pubblicitari per

chiunque voglia sponsorizzare la propria attività. Un esempio di spazio pubblicitario offerto in Decentraland è mostrato in Figura 3.4.

In Decentraland è anche possibile ospitare varie tipologie di eventi sia gratuiti che a pagamento, come conferenze sulle criptovalute, sfilate di moda (Fashion week 2022²) o attività ludiche (Casinò Decentraland³). Organizzando un'iniziativa a pagamento si guadagnerà sulla vendita dei biglietti che forniranno un accesso esclusivo all'evento. Tra i vari utilizzi, c'è anche la possibilità di **affittare** i propri terreni ad altri utenti della piattaforma per un periodo limitato. Infatti, pagando un canone mensile o settimanale, un utente può utilizzare il parcel affittato nel modo in cui desidera come se ne fosse effettivamente il proprietario. Questo tipo di operazione può essere completata affidandosi a piattaforme esterne come **landworks**. Un esempio di un parcel messo in affitto su Landworks lo troviamo nella Figura 3.5.

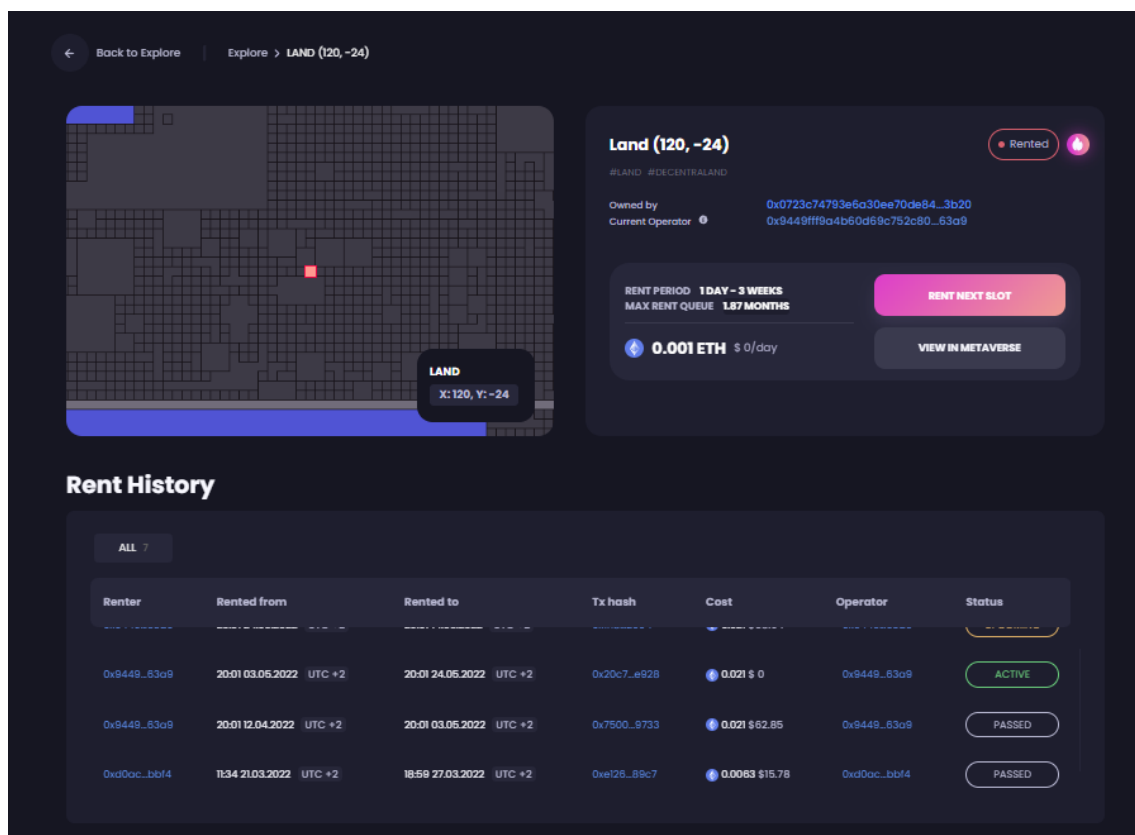


Figura 3.5: Parcel in affitto su landworks

Anche le aziende rilevanti nel mercato mondiale hanno fatto il loro ingresso nel metaverso di Decentraland cercando di capirne le dinamiche e sfruttandone il potenziale. Nella maggior parte dei casi si è trattato di esperienze limitate che hanno avuto perlopiù un carattere di sperimentazione. Di seguito alcuni esempi di eventi organizzati da grandi aziende multinazionali:

²<https://decentraland.org/blog/announcements/metaverse-fashion-week-is-here/>

³<https://coinsutra.com/decentral-games/>

- l'evento di Samsung che ha fatto una ricostruzione del negozio newyorkese, inaugurato con un dj set e un lancio di NFT per personalizzare il proprio avatar all'interno del gioco.
- La casa d'aste londinese Sotheby's, che ha acquistato un terreno per poter ricreare la galleria di New Bond Street.
- Per la prima volta Decentraland ha ospitato la prima fashion week nel metaverso in cui hanno partecipato molti marchi della moda, quasi tutti i partecipanti hanno creato delle collezioni di NFT che sono state vendute in occasione della sfilata.
- Decentral Games ha creato un casinò virtuale nel metaverso di Decentraland raggiungendo entrate pari 7.5 milioni di dollari in 3 mesi.
- Infine la più grande banca degli stati uniti JPMorgan [2] ha fatto il suo ingresso nel metaverso con l'apertura dell'Onyx Lounge in uno dei distretti di Decentraland e insieme alla presentazione, la banca ha anche pubblicato un documento sulle nuove opportunità di queste tecnologie dichiarando che vede nel metaverso un possibile mercato di miliardi di dollari.

3.5 Wearable e Name

Oltre alle parcel e agli estate, Decentraland mette a disposizione altri NFT acquistabili, ovvero **wearable** e i **name**. Gli wearable sono NFT che seguono lo standard ERC-721 ospitati sia sulla blockchain di Ethereum sia su quella di Polygon. Sono oggetti di vario tipo come vestiti e accessori utilizzati per la personalizzazione dell'avatar. Decentraland fornisce di default degli wearable gratuiti, ma supporta anche la creazione di nuovi NFT da parte degli utenti, fornendo dei tool per la modellazione 3D. Gli wearable possiamo vederli in due modi: come singoli **item** o come parte di una collezione. I singoli **item** possono essere duplicati, infatti possiamo trovare più copie dello stesso wearable.

Il limite delle copie è basato sulla rarità dell'oggetto, più l'oggetto è raro meno copie dello stesso item saranno disponibili. Per aiutare gli utenti nella pubblicazione dei wearable, Decentraland dà la possibilità di raggruppare più NFT in una collezione, permettendo di organizzare e gestire gli wearable prima della pubblicazione. Questi tipi di NFT sono sfruttati spesso dalle grandi aziende per promuovere il proprio brand, infatti durante gli eventi vengono lanciate delle collezioni di wearable acquistabili dagli utenti. Per poter mettere in vendita gli wearable nel marketplace si richiede il pagamento in MANA di una commissione pari a 500\$ che ha lo scopo di evitare lo "spam" di wearable nel marketplace.

Oltre agli wearable della piattaforma, Decentraland permette di personalizzare il proprio avatar anche con i **Linked Wearable**. Questi sono NFT che hanno origine al di fuori della piattaforma e che possono essere convertiti in dei wearable. Per registrare il proprio NFT come Linked Wearable, il proprietario deve fare un'apposita proposta alla DAO, che se verrà approvata consentirà all'utente di poter utilizzare un NFT di terze parti per personalizzare il proprio avatar.

Anche i nomi degli utenti in Decentraland sono NFT che seguono lo standard ERC-721, consentono di avere un nome univoco quando ci si interfaccia con gli altri utenti nella mappa di gioco e nelle transazioni. Pagando 100 MANA gli utenti possono registrare il name che vogliono sulla blockchain di Ethereum, altrimenti possono acquistarne uno già esistente dal marketplace o da OpenSea. Anch'essi garantiscono il diritto di voto nel sistema di DAO.

3.6 Mana

Ogni piattaforma del metaverso ha la propria moneta liquida, utilizzata come token fungibile per l'acquisto di tutti i beni digitali della piattaforma e per il pagamento dei servizi offerti dagli altri utenti. In Decentraland, questo ruolo è ricoperto dal MANA. Il MANA è un token Ethereum che segue lo standard ERC-20 ed è la criptovaluta della piattaforma utilizzata per l'acquisto degli NFT di Decentraland come gli *wearable* o i terreni e per pagare gli altri utenti per partecipare alle varie attività sparse nella mappa. Il valore del MANA, essendo strettamente legato alla piattaforma di Decentraland, si differenzia rispetto alle altre criptovalute. Infatti, un eventuale aumento di valore del token MANA si convertirebbe in un aumento dei prezzi delle *parcel* e degli altri beni all'interno del mondo di Decentraland, il che annullerebbe i vantaggi per qualsiasi investitore. Per mitigare questo problema, una parte del MANA utilizzato per gli acquisti di *parcel* ed estate viene "bruciata" per limitare l' "inflazione virtuale" che si creerebbe altrimenti nella piattaforma. I possessori di MANA hanno anche il diritto di partecipare alla governance di Decentraland, con un'influenza proporzionale al numero di token MANA che possiedono in accordo con le regole della DAO presentate nelle sezioni successive (Sezione 3.8). Il titolare dello smart contract del MANA è il contratto di TokenSale. Il proprietario del contratto di TokenSale è un ulteriore contratto che si è "autodistrutto" al momento del *deploy* del contratto del MANA. Ciò significa che non esiste nessun altro contratto o wallet con i permessi per modificare o sospendere la fornitura di MANA.

3.7 Marketplace

Per permettere l'acquisto e la vendita degli NFT descritti in questo capitolo, Decentraland ha fornito una funzionalità fondamentale per la piattaforma il **MarketPlace**. Il Marketplace è il luogo in cui si possono acquistare e vendere *parcel*, Estate, *wearable* e name e gestire tutti gli NFT che possediamo in Decentraland.

Per quanto riguarda la vendita per i *parcel* e gli estate, basta impostare il prezzo di vendita in MANA e la data, per indicare per quanto tempo l'NFT rimarrà in vendita. Se un utente decide di acquistare il terreno, verrà invocato lo smart contract dei *parcel* (o degli estate) per registrare il cambio di proprietà. Sarà compito dell'acquirente fornire gas sufficiente per l'esecuzione della transazione su Ethereum, mentre il venditore sarà soggetto ad una commissione del 2,5% sul prezzo di vendita che andrà ad accrescere i fondi della DAO (vedi Sezione 3.8). Naturalmente, oltre a poter acquistare i *parcel* ed estate messi in vendita, c'è anche la possibilità di fare delle offerte sui singoli terreni. Questa funzionalità permette ad ogni persona regi-

strata alla piattaforma di fare un'offerta su qualsiasi parcel presente nella mappa, indipendentemente dal fatto che sia messo in vendita dal proprietario. Tutte le bid sono pubbliche, quindi ogni utente che possiede un wallet deve indicare l'ammontare e per quanto sarà valida l'offerta. La durata della validità dell'offerta non può superare i sei mesi, perciò, se il proprietario non accetta entro quella data, l'offerente potrà formulare una nuova offerta.

Il proprietario potrà visionare tutti le bid riferite al suo parcel e decidere se accettarle o archivarle in caso non voglia considerare l'offerta. Ogni volta che un parcel o un estate viene scambiato accettando una bid, l'1% del MANA del prezzo concordato viene completamente rimosso dalla circolazione per contenere l'aumento della quantità di MANA circolante. Esiste anche la possibilità di **trasferire gratuitamente** parcel o estate ad un altro utente semplicemente inserendo l'indirizzo del wallet del ricevente, senza ricevere un pagamento da parte del nuovo proprietario. Il marketplace permette anche la gestione dei propri estate. Un utente può aggiungere o togliere parcel ad estate che possiede in qualsiasi momento o può crearne di nuovi. Inoltre, esiste un'ulteriore funzione che permette al proprietario di un parcel di dare dei permessi speciali ad altri utenti per modificare e utilizzare la zona a proprio piacimento. Questa funzionalità è usata sia per permettere a più utenti di collaborare sulla scene di un parcel, sia per affittare i parcel. Dato che sul marketplace il pagamento può avvenire solamente in MANA, all'interno di una delle sezioni del marketplace ci sarà la possibilità di acquistare il MANA. Per acquistare MANA l'utente deve prima possedere una criptovaluta basata sulla blockchain di Ethereum come l' Ether e poi convertirla nella valuta di Decentraland.

3.8 Decentralized Autonomous Organization (DAO)

L'obiettivo della **DAO** di Decentraland è quello di decentralizzare il potere decisionale sulla piattaforma. Infatti, il controllo di molteplici aspetti di Decentraland è riservato agli utenti che ne fanno parte e che sono in possesso di determinate risorse. I voti degli utenti sono pesati in proporzione all'ammontare di MANA e LAND posseduti, ad ogni MANA posseduto corrisponde un singolo voto, ad ogni parcel posseduto corrispondono 2000 voti, mentre ad ogni name posseduto corrispondono 100 voti. Gli utenti interagiscono con la DAO facendo delle proposte e votandole. A seconda del tipo di proposta, è necessario un certo numero di partecipanti per considerare valido il voto (un sistema simile al quorum). Una volta raggiunta la soglia, la proposta è approvata se il voto complessivo a favore della proposta è maggiore del voto complessivo contrario alla proposta. La piattaforma permette anche alla community di fare dei sondaggi pre-proposta. Questo è un meccanismo per raccogliere i feedback della community su un certo argomento prima che una vera proposta venga fatta. Se questi sondaggi raggiungono la soglia di accettazione di 500,000 voti, viene fatta una vera proposta su quell'argomento. le proposte possono riguardare molte funzionalità, tra cui:

- Aggiungere dei punti di interesse o delle zone evidenziate all'interno del mondo di gioco per spingere gli utenti a recarsi in quella posizione.

- Bandire un nome da Decentraland, questo tipo di proposta consente agli utenti di garantire che agli avatar non vengano assegnati nomi offensivi.
- Aggiunta di un **catalyst node** alla rete di server che ospitano ed eseguono il mondo virtuale di Decentraland.
- Modifiche agli **smart contract** degli estate o dei parcel.
- Aggiungere nuovi parcel alla mappa
- Decidere l'ammontare delle commissioni pagate dagli utenti per le vendite nel marketplace

Le proposte approvate vengono emanate sulla blockchain di Ethereum da un comitato per mezzo di un portafoglio multi-sig. Il comitato è formato da un gruppo di tre individui fidati selezionati dalla community ed è supervisionato dal Security Advisory Board (SAB) che ha la possibilità di bloccare e cancellare le iniziative del comitato. Oltre a garantire la gestione del mondo agli utenti, la DAO mantiene la proprietà gli smart contract di Decentraland, in particolare quelli di Parcel ed Estate, e dei fondi in MANA. Il fondo in MANA è alimentato dalle entrate derivanti dalle commissioni sulle vendite degli NFT di Decentraland. I fondi sono utilizzati come sovvenzioni per aiutare la community, per far crescere la piattaforma in accordo con le decisioni e le indicazioni votate dagli utenti, o per finanziare progetti particolari, come i distretti.

3.8.1 SAB

Il **Security Advisory Board (SAB)** è un ente che funge da garante della sicurezza degli smart contract di Decentraland e ha il compito di supervisionare il lavoro del comitato DAO e rispondere alle segnalazioni di vulnerabilità e bug in qualsiasi contratto di Decentraland. Il SAB comprende 5 esperti che sono stati inizialmente selezionati dal team di sviluppo di Decentraland. Ogni volta che deve essere apportata una modifica ai contratti dei parcel o estate, l'aggiornamento deve essere supportato all'unanimità dal portafoglio multi-sig del SAB. Infatti, per apportare modifiche ai contratti di parcel o Estate sono necessari almeno tre firmatari senza voti contrari. In sintesi il SAB ha la possibilità di sospendere, riprendere o annullare qualsiasi azione intrapresa dal Comitato DAO.

3.9 Scopo della Tesi

Il Metaverso attualmente è l'esempio evidente dell'evoluzione della comunicazione tra gli utenti, questo concetto ha suscitato l'interesse di molte aziende che hanno creato il proprio Metaverso. Decentraland attualmente è la piattaforma più rilevante in questo scenario, per questo ne studiamo le caratteristiche, svolgendo un lavoro di analisi per comprendere le dinamiche dietro ad un mondo virtuale. L'aspetto fondamentale che divide Decentraland da altre piattaforme, è la possibilità di possedere beni virtuali, per questo motivo lo studio si concentra sull'ambito degli NFT, analizzando l'aspetto economico dei token e l'attività di compravendita da parte degli

utenti. Come specificato in precedenza i terreni sono l'aspetto più importante per il funzionamento del Metaverso di Decentraland, per questo l'analisi si focalizzerà sulla natura dei trasferimenti che coinvolgono gli NFT relativi a **parcel** ed **estate**, piuttosto che sui trasferimenti dei **wearable**.

Durante l'analisi cerchiamo di comprendere il volume di scambi che interessano **parcel** ed **estate**, focalizzando l'attenzione sugli account coinvolti nelle transazioni e sui prezzi di vendita degli NFT. Per gli account cercheremo di individuare gli indirizzi che presentano delle peculiarità che li differenziano da altri account, analizzando per ogni indirizzo, il numero di vendite e acquisti. Per ogni NFT cercheremo la presenza di transazioni insolite, come scambi reciproci tra gli account assimilabili a fenomeni di wash trading.

Oltre agli account, per capire il valore dei **parcel** e degli **estate**, il lavoro di analisi si concentrerà sulle variazioni di prezzo dei singoli di NFT, per comprendere come il prezzo è cambiato tra i vari scambi e eventualmente la causa di un aumento o di una diminuzione del valore di vendita. In Decentraland esistono due diverse maniere di trasferire **parcel** ed **estate**: mediante **trasferimenti gratuiti** oppure mediante **vendite** (dove al trasferimento dell'NFT corrisponde un trasferimento di criptovaluta dall'acquirente al venditore). Data le due nature dei trasferimenti e la presenza di due tipologie di NFT che rappresentano pezzi del terreno di gioco, abbiamo costruito quattro grafi diversi. Un primo grafo è stato costruito considerando entrambi i tipi di trasferimenti, ma considerando solo i **parcel**. Il secondo è stato ottenuto dal primo considerando solo gli scambi di tipo vendita. Due ulteriori grafi sono analoghi ai primi, ma costruiti considerando i trasferimenti di **estate**. Quindi in totale avremo quattro grafi:

- un grafo con tutti i **trasferimenti totali** dei **parcel**.
- un grafo delle sole **vendite** dei **parcel**.
- un grafo con tutti i **trasferimenti totali** degli **estate**.
- un grafo delle sole **vendite** degli **estate**.

Le strutture create sono **multigrafi** sono **diretti** con **archi pesati**. I nodi rappresentano gli account coinvolti nello scambio mentre gli archi uscenti corrispondono al trasferimento di un NFT verso un altro account e gli archi entranti corrispondono all'ottenimento di un NFT. Sugli archi sono state salvate le seguenti informazioni:

- il **prezzo** di vendita dell'NFT.
- il **tokenId** dell'NFT.
- il **tokenName** dell'NFT, se presente, Null altrimenti.
- la **data** dello scambio.

Se l'etichetta del prezzo è diversa da zero, l'arco modella una **vendita**, altrimenti l'arco modella il **trasferimento gratuito** dell'NFT. Nella fase successiva analizziamo i grafi appena costruiti per trarre le conclusioni sulle caratteristiche degli account coinvolti negli scambi. Costruiamo una serie di grafici sulle proprietà dei

nodi e degli archi del grafo per avere un'idea sulla correlazione tra vendite e acquisti di ogni account e dei grafici sulla correlazione tra trasferimenti gratuiti e effettive vendite. Infine grazie ai dati raccolti e al grafo appena costruito, analizziamo una serie di grafici sui prezzi per avere un'idea del cambiamento del valore degli NFT correlato al numero di scambi.

Capitolo 4

Dettagli implementativi

In questo Capitolo, andremo a presentare i dettagli implementativi riguardanti le analisi svolte. In particolare, inizialmente descriviamo gli strumenti che sono stati di supporto alla realizzazione delle analisi, e successivamente presentiamo le varie fasi implementative che ci hanno portato prima a costruire un dataset, a successivamente alla sua analisi.

4.1 Strumenti

4.1.1 API: Decentraland, Etherscan

L'intero lavoro di raccolta dati è stato completato sfruttando l'**API di Etherscan** e l'**API di Decentraland**. L'API di Etherscan espone dei metodi per effettuare richieste GET e POST per accedere ai dati della blockchain di Ethereum. Sono presenti i metodi per ottenere le informazioni sui singoli account come il bilancio in Ether o la lista delle transazioni associate all'indirizzo e le richieste per ottenere le transazioni di un range di blocchi filtrati sia per contract address che per indirizzo dell'account. Si possono anche ottenere le informazioni sugli eventi di log, filtrando i risultati utilizzando diversi parametri come il range di blocchi, il topic o l'indirizzo. Nel nostro caso, tutte le richieste utilizzate restituiscono insiemi di transazioni di token ERC-20 e ERC-721 filtrate per Contract e per range di blocchi. L'API messa a disposizione da Decentraland espone principalmente metodi per richiedere informazioni su ogni singolo parcel ed estate all'interno del mondo di gioco, ma anche per creare richieste GET che restituiscono informazioni sulle vendite e sulle Bid degli NFT della piattaforma. Decentraland utilizza un tipo di richieste che sono delle query indirizzate al subgraph di Decentraland nella piattaforma **The Graph**. The Graph è un protocollo di indicizzazione dei dati della blockchain, che consente di interrogare le reti come Ethereum. Sono presenti le query per ottenere le informazioni sugli NFT quindi parcel, estate e wearable e anche le query per ottenere i dati sui singoli account, come gli NFT posseduti o le vendite e le bid associate all'indirizzo. Naturalmente tutte le query hanno una serie di parametri per filtrare la richiesta e per ordinare i risultati. In questo caso l'API è stata sfruttata per ottenere più informazioni sui singoli parcel e sugli estate, come l'attuale proprietario, le coordinate del parcel all'interno della mappa o il numero di parcel presenti in un estate.

4.1.2 Linguaggio di programmazione utilizzato

Gli script utilizzati per raccogliere i dati, sono scritti in **Python**. Python è un linguaggio di programmazione di alto livello che supporta sia la programmazione procedurale, sia la programmazione ad oggetti. Nel package di python è inclusa una standard library composta da oltre 200 moduli, ma il package consente anche di installare diversi moduli aggiuntivi creati dalla community. In questo caso vengono sfruttate in particolare due librerie: Networkx, Matplotlib. **Networkx** è una libreria python per la creazione e l'analisi dei grafi. Sono presenti vari costruttori per la creazione di varie tipologie di grafo: grafi diretti e indiretti, grafi pesati o Multigraph per avere anche archi duplicati. La libreria dà la possibilità di salvare i grafi in vari formati utilizzabili anche per la visualizzazione grafica del grafo in altri software. L'altro aspetto fondamentale della libreria sono le varie funzioni per ottenere tutte le caratteristiche sui singoli nodi e archi del grafo, come la centralità o il degree dei nodi o il diametro e il raggio del grafo. Una seconda libreria python spesso utilizzata durante lo svolgimento della tesi è **Matplotlib**. Questa è una libreria per la creazione di grafici, la libreria permette costruire qualsiasi tipologia di grafico che possono essere visualizzati su varie tipologie di GUI e salvati in diversi formati di file. Nel nostro caso utilizziamo la libreria per costruire i grafici sulla distribuzione bivariata sulle proprietà dei nodi del grafo e per costruire dei Boxplot per lo studio dei prezzi di vendita degli NFT.

4.1.3 Cytoscape

Cytoscape è un software per la visualizzazione e l'analisi dei grafici. Nasce come software utilizzato in bioinformatica per la visualizzazione delle reti molecolari, ma può essere utilizzato per visualizzare ed analizzare qualsiasi tipo di grafo. Il software dà la possibilità di ricreare un grafo a partire da diversi formati di file e permette di importare delle tabelle in formato csv per fornire più dettagli sugli attributi degli archi e dei nodi. Si possono scegliere diversi tipi di visualizzazione del grafo e modificare l'aspetto dei nodi e degli archi, è presente anche uno strumento di analisi che restituisce le informazioni su ogni proprietà del grafo.

4.2 Implementazione

Per svolgere il lavoro di analisi delle transazioni, inizialmente raccogliamo i dati sulle transazioni dei token dalla Blockchain di Ethereum. L'obiettivo dell'attività di raccolta dati è quello di ottenere le informazioni per generare la history degli scambi di ogni parcel ed estate. La raccolta delle informazioni si divide in tre fasi principali, una in cui si ottengono i dati sui trasferimenti degli NFT e l'altra in cui si raccolgono i dati sulle transazioni dei token utilizzati per il pagamento degli NFT, nella fase finale compariamo le transazioni per ricostruire l'insieme degli scambi in ordine cronologico di ogni parcel e estate.

4.2.1 Trasferimenti Parcel, Estate

Per ottenere le informazioni sulle transazioni che coinvolgono parcel ed estate utilizziamo le richieste GET fornite dall'API di Etherscan. Per ottenere i risultati voluti è stata utilizzata un tipo di richiesta che restituisce una lista di trasferimenti di token **ERC-721** filtrati per token contract. La richiesta GET [4] prende come parametri in input: il contract adress, l'account di cui prendere le transazioni, il numero di blocco da cui partire e l'ultimo blocco da cui prendere le transazioni e i parametri *page* ed *offset* per limitare il numero dei risultati che restituisce la richiesta. In questo caso è bastato mandare più **request** all'API specificando il range di blocchi interessato, dato che i risultati vengono restituiti in ordine crescente di **block Number**, una volta ottenuti i dati, le request successive vengono fatte a partire dall'ultimo blocco ottenuto. Per ottenere tutte le informazioni, le richieste vengono prima filtrate per contract dei **parcel** poi per contract degli **estate**. In particolare utilizziamo un ciclo *while* per ottenere tutte le transazioni, all'i-esima iterazione mandiamo una richiesta all'API specificando il contract address, il blocco di partenza e il blocco finale, i risultati appena ottenuti vengono concatenati tutti in una lista. Ad ogni iterazione salviamo il numero dell'ultimo blocco visionato, per utilizzarlo nell'iterazione successiva come blocco di partenza. Alla fine della procedura salviamo la lista dei trasferimenti in un file JSON. In Figura 4.1 lo pseudocodice utilizzato.

```
while response is not NULL
    req="contractaddress=contractparcel&startblock=lastblock&endblock=99999999
    response=requests.get(req)
    lastblock=response.lastblock()
```

Figura 4.1: script per ottenere i trasferimenti di parcel

In questa fase da questo processo vengono prodotti due file JSON contenenti la lista dei trasferimenti di parcel ed estate, che hanno la struttura riportata nelle Figure 4.2, 4.3.

```
blockNumber:      "6240943"
timeStamp:        "1535637676"
▶ hash:           "0x93f34261b7edcdf84bae9e...134eadd2c5cc0f269c5768f"
nonce:            "45"
▶ blockHash:      "0xc7fbe140a1b14f86d4d29c...b44c30dc9f748df7f39bac3"
from:             "0x0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000"
contractAddress:  "0x959e104e1a4db6317fa58f8295f586e1a978c297"
to:              "0x9abdcbb8825696cc2ef3a0a955f99850418847f5d"
tokenId:          "1"
tokenName:        "Estate"
tokenSymbol:      "EST"
```

Figura 4.2: trasferimento estate


```

blockNumber:      "6240748"
timeStamp:        "1535634554"
▼ hash:           "0xd02321df4eedf761db2288fbd73e50a42e96d16f1f3c9e6cdd207a87c5608316"
nonce:            "33"
▼ blockHash:      "0xf42c93eed01bc2b0a9e198a8af4f743dca0a3da16ecaec8fdc3377215f201b99"
from:             "0x99a811e5c62add613975456292f836115aea0164"
contractAddress:  "0xf87e31492faf9a91b02ee0deaad50d51d56d5d4d"
to:               "0x1204557634e13842d955394c8d381d1128bfa8b3"
▼ tokenID:        "115792089237316195423570985008687907847144902061063671697116841074141301833593"
tokenName:        "Decentraland LAND"
tokenSymbol:      "LAND"

```

Figura 4.3: trasferimento parcel

In entrambi i file avremo il campo **from** e il campo **to**, rispettivamente per il mittente e il destinatario, il **tokenID** che identifica l’NFT, il **timestamp** e l’**hash** della transazione, il numero e l’hash del blocco dove è contenuta la transazione e il **contract address** con cui si interagisce per completare la transazione.

4.2.2 Trasferimenti Mana, Weth ed Eth

I risultati appena ottenuti non permettono di capire se c’è stata una vendita o se l’NFT è stato trasferito gratuitamente ad un altro utente, si possono ottenere più informazioni sulle vendite utilizzando nuove richieste che vadano ad ottenere le informazioni sugli scambi di token ERC-20, sapendo che, in caso di vendita, le transazioni del trasferimento dell’NFT e del trasferimento dei token per il pagamento si trovano nello stesso blocco. La richiesta GET [4], per il MANA e il WETH, prende come parametri in input: il contract address, l’account di cui prendere le transazioni, il numero di blocco da cui partire e l’ultimo blocco da cui prendere le transazioni e i parametri *page* ed *offset* per limitare il numero dei risultati che restituisce la richiesta. Mentre la richiesta per ottenere le transazioni di Ether utilizza come parametri solamente il blocco d’inizio e fine e i parametri per limitare i risultati. Ottenuti i trasferimenti totali sia dei parcel che degli estate è stato possibile salvare il numero dei blocchi interessati dagli scambi di NFT in una lista, quindi per ottenere le vendite associate, similmente al caso precedente, è bastato fare più **request** memorizzando l’ultimo blocco visionato fino al raggiungimento dell’ultimo blocco coinvolto nei trasferimenti di parcel ed estate, questo procedimento è stato ripetuto prima filtrando con il contract del **MANA** poi per quello del **WETH** ed infine per quello dell’ **Ether**. Come nel caso degli NFT, utilizziamo un ciclo *while*, dove ad ogni iterazione ottenuti i risultati li concateniamo in una lista e salviamo l’ultimo blocco interessato per utilizzarlo all’iterazione successiva come numero di blocco di partenza. Vengono prodotti tre file json diversi contenenti la lista dei trasferimenti dei token, I Trasferimenti **MANA**, **WETH** e **Ether** hanno la stessa struttura riporta nella Figura 4.4:

```

    blockNumber:      "6243250"
    timeStamp:        "1535670740"
    ▶ hash:           "0x53007a6cab4bfca3bd49b5...9ec81455c29bfacee4c4064"
    nonce:            "172"
    ▶ blockHash:      "0xcf6abd11c56ef3027cc8e6...6f25cdc1dffa7b480df3c3"
    from:             "0xdcf753715a75407d3931a131ef7948f65c051dd7"
    contractAddress:  "0xf5d2fb29fb7d3cfee44a200298f468908cc942"
    to:               "0xf902d068920234957d2908b8b0156e61c0bea2c2"
    value:            "79500000000000000000000000"
    tokenName:        "Decentraland"
    tokenSymbol:      "MANA"

```

Figura 4.4: struttura del trasferimento di MANA

4.2.3 Vendite Trasferimenti Parcel & Estate

Ottenuti i dati sui **parcel** e sugli **estate** e sui **token** utilizzati nelle vendite è stato possibile ricostruire la storia totale di tutti gli scambi in ordine cronologico di ogni singolo NFT. Inizialmente utilizzando il file JSON dei trasferimenti totali di parcel ed estate, è stato possibile creare un dizionario che utilizza come chiave il tokenId dell’NFT a cui è associato la lista dei trasferimenti. Per costruire il dizionario, è bastato scorrere con un ciclo *for* l’insieme dei trasferimenti. Ad ogni iterazione estraiamo il tokenId dalla transazione e lo inseriamo come chiave nel dizionario e infine aggiungiamo il trasferimento alla lista associata. Ogni trasferimento conterrà l’indirizzo del mittente e del destinatario e la data. Le liste dei trasferimenti di ogni NFT sono state riordinate in ordine cronologico sfruttando il timestamp del trasferimento. Per completare il file, scorrendo gli scambi di Mana, Eth e Weth è stato assegnato, se presente, la quantità e il tipo di criptovaluta utilizzata per l’acquisto dell’NFT, ciò è stato possibile perché se il parcel o l’estate è stato venduto, il **Block Number** il **Transaction Hash** del trasferimento del parcel saranno uguali a quelli della transazione del trasferimento del token utilizzato per il pagamento, se invece il parcel o l’estate non è stato venduto, ma trasferito ad un altro account gratuitamente, il prezzo verrà assegnato a zero. Guardando il codice, utilizziamo due *cicli for* annidati, uno per scorrere la lista dei trasferimenti e l’altro per scorrere la lista delle vendite. All’i-esima iterazione per ogni trasferimento dell’ NFT confrontiamo l’hash value e il blocknumber, se troviamo una corrispondenza nella lista dei trasferimenti di token, assegniamo al campo *price* del trasferimento dell’NFT il valore del token, altrimenti assegneremo al campo price zero, e a *Null* il tipo di token. Lo pseudocodice della procedura è riportato nella Figura 4.5.

```

for t in transf:
    for v in vend:
        if t.hash==v.hash & t.bnumber==v.bumber:
            t.price=v.value

```

Figura 4.5: script per confrontare le transazioni di NFT

Vengono prodotti due nuovi file JSON, uno per i parcel, l'altro per gli estate, entrambi sono dizionari JSON che utilizzano come chiave il tokenId dell'NFT a cui è associata una lista di scambi con la seguente struttura riportata nella Figura 4.6.

```
from:      "0xc5994aba8b23000c645e4661e87b92d0fd85a6b9"
to:        "0xdc19d539369c3da9172de453c05bc503c9ac6bc2"
data:      "1541649734"
hash:      "0x1af97a08a98c93c78d295f...24f23ee91b471feaf58e721"
price:     1.99999e+23
tokenName: "MANA"
Block:     "6664122"
```

Figura 4.6: struttura di un trasferimento di un parcel

Completata l'ultima operazione, per avere più informazioni sui parcel, sfruttando l'API fornita da **Decentraland**, è stato possibile associare al tokenId anche le coordinate del parcel all'interno della mappa e l'attuale proprietario. Utilizziamo una richiesta GET che prende come parametro il tokenId del parcel e restituisce una serie di informazioni sull'NFT, quindi è bastato utilizzare un ciclo for per scorrere la lista dei tokenId e ad ogni iterazione fare una request che prende come parametro l'id e restituisce un oggetto JSON con un insieme di informazioni sull'NFT. Ottenuto il risultato, estraiamo solamente i campi corrispondenti alle coordinate x e y e all'attuale proprietario, queste informazioni vengono aggiunte come campi al dizionario dei trasferimenti, in modo da avere altri campi che identificano il parcel oltre al tokenId. Dato che vengono utilizzati tre token diversi per i pagamenti degli NFT, per avere un'idea sulle variazioni di prezzo tra una vendita e l'altra, tutte le transazioni sono state cambiate in dollari sfruttando dei file csv contenenti la **history** del valore dei token (Mana, Eth, Weth) dal 2018 al 2022 ottenuta da *yahoo finance*¹. Nel file csv in ogni riga è presente la data e il valore del token in apertura e in chiusura in quel giorno. Sia per gli estate che per i parcel, per convertire la valuta, seguiamo la stessa procedura. Utilizziamo due cicli *for* annidati, il primo per scorrere il dizionario JSON dei trasferimenti e il secondo per scorrere il file CSV, ad ogni iterazione confrontiamo la data del trasferimento con le date nel file CSV, trovata una corrispondenza, moltiplichiamo il valore del token per il numero di token utilizzati per il pagamento e otteniamo il prezzo in dollari che va a sostituire il prezzo in criptovaluta. Alla fine del processo avremo due dizionari JSON che hanno la stessa struttura di quelli precedenti (Figura 4.6) e vengono salvati in due ulteriori file.

4.3 Analisi dei trasferimenti

Alla fine del processo di raccolta dati abbiamo quattro file JSON contenenti la history dei trasferimenti di parcel ed estate. Per entrambi gli NFT abbiamo due

¹<https://it.finance.yahoo.com/quote/MANA-EUR/history?p=MANA-DOL>

strutture: un dizionario con chiave il tokenId dell’NFT a cui è associata la lista dei trasferimenti in ordine cronologico dove il prezzo delle vendite è in criptovaluta e un altro dizionario con la stessa struttura ma dove il prezzo è in dollari. Grazie a questi file costruiamo una serie di Grafi su cui svolgiamo un lavoro di analisi, costruendo dei grafici sulle proprietà dei nodi e degli archi. In fine, sfruttando i grafi e i file JSON, realizziamo una serie di grafici sui prezzi di vendita degli NFT.

4.3.1 Costruzione e Analisi del Grafo

Dopo la fase di raccolta dei dati, costruiamo una serie di grafi sui trasferimenti. Tutti i grafi sono diretti ed hanno come nodi gli account e come archi pesati il trasferimento di un NFT verso un indirizzo, i grafi sono stati costruiti sfruttando i file appena creati dei trasferimenti. Scorrendo tutti gli NFT, per ogni scambio viene creata una tupla contenente il mittente, il destinatario e un insieme di pesi: il **tokenId** del parcel o dell’estate, il prezzo, se il prezzo è diverso da zero, il **token** utilizzato per il pagamento e la **data** dello scambio. Una volta creata, la tupla viene inserita in una lista, che grazie al costruttore fornito dalla libreria **networkx**, verrà sfruttata per la creazione di un **Multigraph**, quindi un grafo diretto che permette l’esistenza di archi duplicati. Alla fine del processo i grafi vengono salvati in due file, un file JSON per l’analisi delle statistiche e un file con estensione **.graphml** utilizzato per visualizzare graficamente il grafo su **cytoscape**. Per ogni grafo costruito viene fatto un lavoro di analisi sulle proprietà del grafo: sulla centralità, sulle componenti connesse e sulla correlazione tra acquisti e trasferimenti gratuiti. Per costruire i grafici, sfruttiamo la libreria di **networkx**, utilizziamo un *ciclo for* per scorrere tutti i nodi del grafo, ad ogni iterazione otteniamo il valore dell’out degree e dell’in degree del nodo, i risultati vengono inseriti in un dizionario che utilizza come chiave l’etichetta del nodo, quindi nel nostro caso l’indirizzo dell’account. Utilizziamo la stessa procedura per associare ad ogni nodo il numero di archi pesati con prezzo diverso da zero e archi con prezzo uguale a 0. Sfruttando la libreria **matplotlib**, questi dati vengono utilizzati per la costruzione di vari tipi di grafici. Vengono creati diversi grafici sia per i parcel che per gli estate sulla correlazione tra in degree e out degree di ogni nodo e dei grafici sulla correlazione tra vendite e trasferimenti gratuiti in cui l’account è coinvolto. Per identificare fenomeni di wash trading, oltre allo studio delle proprietà del grafo, svolgiamo un lavoro di ricerca di cicli all’interno dei grafi, utilizzando gli algoritmi forniti da **networkx**. In più cerchiamo all’interno del dizionario JSON dei trasferimenti, cerchiamo per ogni NFT, la ricorrenza degli account che rivendono o acquistano più volte lo stesso parcel o estate. Per fare ciò utilizziamo un ciclo *for* per scorrere il dizionario degli NFT e un secondo ciclo per scorrere la lista dei trasferimenti di ogni token e come strutture dati di appoggio utilizziamo due liste che ricreiamo per ogni NFT: una lista in cui inseriamo gli acquirenti dell’NFT e una in cui mettiamo i venditori. Ad ogni iterazione controlliamo che gli indirizzi del mittente e del destinatario non siano già presenti nelle due liste, se sono già stati inseriti, salviamo l’NFT e tutti i suoi trasferimenti in un nuovo dizionario JSON, altrimenti aggiungiamo l’acquirente e il destinatario nelle liste corrispondenti. Alla fine del processo avremo un nuovo dizionario JSON contenente solo gli NFT scambiati reciprocamente tra due o più account.

4.3.2 Analisi dei prezzi

Completata l'analisi sui grafi, studiamo le variazioni dei prezzi di vendita degli NFT. Costruiamo quattro grafici per i parcel e quattro per gli estate, due dei grafici sono dei boxplot del prezzo di vendita dell'NFT, dove all' i -esimo box plot corrisponde l' i -esima distribuzione del prezzo di vendita, mentre gli altri due sono sempre dei box plot, ma dove l' i -esimo box plot corrisponde l' i -esima distribuzione della variazione del prezzo dell'NFT, rispetto alla vendita precedente. Per costruire i grafici, con due *cicli for* scorriamo il dizionario JSON dei trasferimenti (Figura 4.6), ad ogni iterazione per ogni NFT, scorriamo la lista dei trasferimenti e estrapoliamo il prezzo di vendita che viene inserito in una lista. Alla fine avremo un insieme di liste, dove ogni lista contiene tutti i prezzi di vendita associati all' i -esimo scambio, questi dati vengono utilizzati per creare i boxplot utilizzando il costruttore messo a disposizione dalla libreria Matplotlib. Lo studio sull'andamento dei prezzi di estate e parcel viene suddiviso in due analisi diverse che trattano in maniera differente i trasferimenti gratuiti di un NFT. Nel caso standard, quando c'è un trasferimento gratuito, il prezzo associato allo scambio è **zero** quindi la variazione di prezzo andrà sicuramente in negativo se c'è stata una vendita precedente, mentre nella seconda modalità di analisi, nel caso di un trasferimento gratuito, verrà preso come prezzo associato allo scambio quello dell'ultima vendita, quindi la variazione di prezzo sarà banalmente uguale a zero, se invece non è presente alcuna vendita precedente il prezzo sarà zero come nel primo caso. Un esempio della differenza di analisi si trova nella Figura 4.7, in questo caso l'indirizzo `x07c` trasferisce gratuitamente il parcel all'account `0x883`. Nel primo caso abbiamo una variazione in negativo corrispondente al prezzo della vendita precedente, mentre nel secondo caso è come se il parcel sia stato venduto al prezzo della vendita precedente, quindi la variazione di prezzo sarà pari a 0.

```
data: 2020-08-25 23:28:04 Vendita -> price: 384.0 $  
from: 0x7c00c9f0e7aed440c0c730a9bd9ee4f49de20d5c  
to: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c  
  
DIFFERENZA: -337.07  
  
data: 2020-08-28 02:47:22 Vendita -> price: 431.5 $  
from: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c  
to: 0x7c00c9f0e7aed440c0c730a9bd9ee4f49de20d5c  
  
DIFFERENZA: +47.5  
  
data: 2021-03-24 03:49:10 Vendita -> price: 0 $  
from: 0x7c00c9f0e7aed440c0c730a9bd9ee4f49de20d5c  
to: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c  
  
DIFFERENZA: -431.5
```

(a) caso standard

```
data: 2020-08-25 23:28:04 Vendita -> price: 384.0 $  
from: 0x7c00c9f0e7aed440c0c730a9bd9ee4f49de20d5c  
to: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c  
  
DIFFERENZA: -337.07  
  
data: 2020-08-28 02:47:22 Vendita -> price: 431.5 $  
from: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c  
to: 0x7c00c9f0e7aed440c0c730a9bd9ee4f49de20d5c  
  
DIFFERENZA: +47.5  
  
data: 2021-03-24 03:49:10 Vendita -> price: 431.5 $  
from: 0x7c00c9f0e7aed440c0c730a9bd9ee4f49de20d5c  
to: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c  
  
DIFFERENZA: 0
```

(b) caso della vendita precedente

Figura 4.7: Esempio sui due tipi di analisi dei prezzi

Capitolo 5

Analisi dei risultati

In questo Capitolo descriviamo il lavoro di analisi degli scambi che coinvolgono parcel ed estate. Nella prima parte verrà fornita una descrizione dettagliata del dataset e della sua modellazione tramite grafi. Successivamente andremo a descrivere le varie analisi eseguite che ci hanno permesso di individuare alcuni importanti fenomeni all'interno di Decentraland.

5.1 Dataset

I dati collezionati da Decentraland riguardano principalmente l'insieme dei trasferimenti che coinvolgono parcel ed estate per un periodo che va da **Agosto del 2018** a **Marzo del 2022**. L'interesse di questa tesi infatti, si pone sull'attività principale di Decentraland in merito allo scambio di NFT, ed in particolare di parcel ed estate. Ad ogni NFT è associata la lista degli scambi in ordine cronologico, per ogni scambio è presente la data, l'account del destinatario e del mittente e, in caso di vendita, l'ammontare del prezzo, sia in dollari che in criptovaluta, specificando anche il tipo di token che è stato utilizzato.

Gli scambi sono stati distinti in due tipologie differenti: le **vendite** e i **trasferimenti gratuiti**. In quest'ultimi, nettamente superiori di numero, l'NFT viene trasferito al nuovo proprietario senza il trasferimento di alcuna somma per il pagamento. Il numero dei parcel coinvolti nei trasferimenti risulta pari a **81,513**, mentre il numero totale dei trasferimenti dei parcel è pari a **190,185**, di cui **27,353** sono vendite. Il numero degli estate coinvolti è nettamente inferiore ed è pari a **4,791**, mentre il numero totale dei trasferimenti degli estate risulta pari a **9,820**, di cui **3,138** sono vendite. I dati sui trasferimenti sono stati utilizzati per creare dei grafi sulle transazioni relativi alle parcel e alle estate. I grafi sono diretti con archi pesati, i nodi sono gli account di Ethereum coinvolti nelle transazioni, mentre un arco uscente modella il trasferimento di un NFT verso un altro account, viceversa un arco entrante corrisponde all'acquisizione di un NFT. I pesi degli archi sono: il tokenID dell'NFT, la data del trasferimento, il prezzo in dollari, il prezzo in criptovaluta e il tipo di criptovaluta utilizzata per il pagamento. Se il prezzo è diverso da zero, l'arco corrisponde ad una vendita altrimenti corrisponde ad un trasferimento gratuito dell'NFT. Alla luce di ciò, sia per le parcel che per gli estate, avremo un grafo **Totale dei trasferimenti** che considera entrambi i tipi di archi e un grafo delle sole **Ven-**

dite che avrà solo archi dove il prezzo è diverso da zero. In Tabella 5.1 riportiamo le caratteristiche di base dei quattro grafi creati. Come notiamo dalla tabella, per entrambi gli NFT, il grafo delle vendite presenta un numero nettamente inferiore di nodi e di archi e di conseguenza una densità del grafo più bassa rispetto al grafo totale. Per i parcel, come suggerisce il coefficiente di Clustering e il numero medio di Neighbors dei nodi, passando al grafo delle vendite avremo un'interconnessione più forte tra i nodi e una diminuzione delle componenti connesse. Mentre per gli estate avremo la situazione opposta, cioè un grafo totale che è debolmente connesso e un grafo delle vendite dove i nodi sono meno interconnessi tra loro e dove aumentano le componenti debolmente connesse.

5.2 Analisi dei Grafi di Trasferimenti e Vendite

Tabella 5.1: Tabella dei grafi

Grafi degli scambi				
Statistiche	Parcel		Estate	
	Totale	Vendite	Totale	Vendite
N°Nodi	9431	7670	2691	1682
N°Archi	190185	27353	9820	3138
N°C. Fort	6772	6519	2261	1457
N°C. Deb	154	152	1	109
Densità	0.002138	0.000465	0.001356	0.001109
Diametro	5	16	18	12
Clustering	0.001	0.040	0.075	0.040
Neighbors	1.209	2.652	3.195	2.652

5.2.1 Analisi dei grafi dei Parcel

Come prima analisi ci siamo concentrati sui trasferimenti di parcel. I dati raccolti sono stati utilizzati per la creazione del grafo dei parcel, come descritto in Sezione 4.3.1. In Figura 5.1 mostriamo una rappresentazione grafica del grafo dei trasferimenti dei parcel, dove i nodi modellano gli indirizzi Ethereum e gli archi i trasferimenti di parcel, mentre in Figura 5.2 mostriamo una rappresentazione grafica del grafo delle vendite dei parcel, dove i nodi modellano gli indirizzi Ethereum e gli archi le vendite dei parcel. Nel grafo dei **Trasferimenti** consideriamo entrambi i tipi di archi, sia gli archi con prezzo diverso da zero (**vendite**), sia gli archi con prezzo uguale a zero (**trasferimenti**), mentre nel grafo delle sole **Vendite** prendiamo in considerazione solo gli archi dove il prezzo è diverso da zero.

Entrambi i grafi presentano una struttura simile, con una componente debolmente connessa che contiene la maggior parte dei nodi, e molte altre piccole componenti, la più grande delle quali contiene 16 nodi. Le piccole componenti sono dovute perlopiù

ad indirizzi che hanno effettuato pochissimi trasferimenti di NFT. Dalla **Tabella 5.1**, notiamo che passando al grafo delle vendite il numero degli archi diminuisce notevolmente, e di conseguenza anche la densità, ma osserviamo che il coefficiente di clustering aumenta. Questo ci suggerisce che nonostante le vendite di parcel siano in numero minore, esiste una più forte interconnessione tra indirizzi che le effettuano.

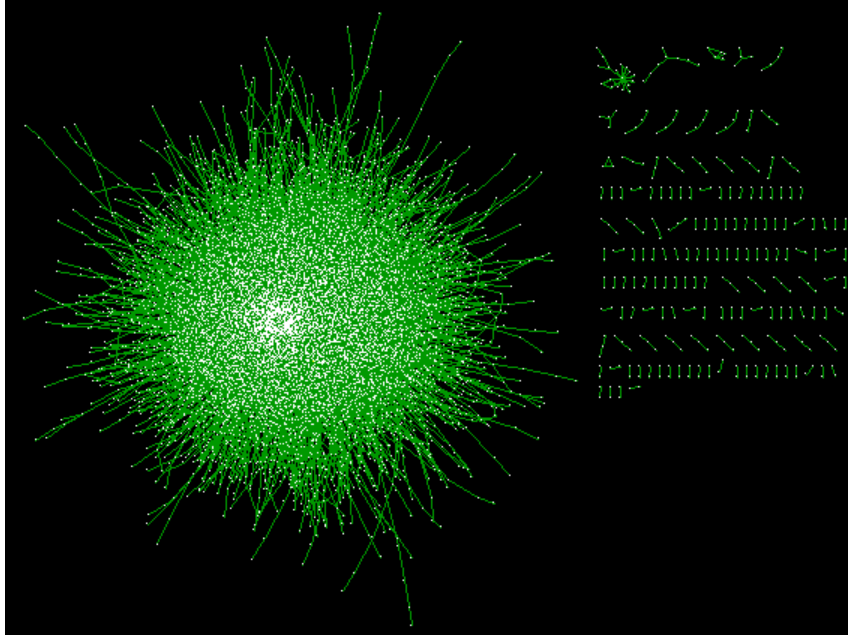


Figura 5.1: Grafo dei trasferimenti totali relativi ai parcel, il grafo è diretto e gli archi sono pesati, i nodi sono gli account e gli archi rappresentano i trasferimenti di NFT. **N° Nodi:** 9431 **N° Archi:** 190185.

Osservando le componenti connesse più grandi dei due grafi, possiamo notare alcuni account rilevanti. Ad esempio, il nodo con il **degree** più alto, nel grafo in Figura 5.1 corrisponde all'indirizzo del **contract degli estate**. Tutti gli archi uscenti ed entranti di questo nodo non rappresentano il trasferimento di un parcel ad un altro proprietario, ma rappresentano che un certo parcel entra a far parte di un estate, sempre appartenente al proprietario del parcel, o viceversa ne viene escluso. Questa differenza tra i due grafi è causata infatti dall'influenza delle transazioni che coinvolgono il contract degli estate. Questo ci dimostra una tendenza nel riunire i parcel all'interno di un estate piuttosto che venderli o trasferirli singolarmente. Infatti su un grafo di 190185 archi, il degree del nodo corrispondente all'indirizzo del contract degli estate è pari a 106946. Un altro fenomeno causato dalla funzione degli estate, è che se i parcel vengono venduti mentre sono accorpati in un estate, nella catena di transazioni dei singoli parcel non vedremo né il trasferimento dell'NFT verso un nuovo proprietario né il trasferimento dei token per il pagamento. Invece troveremo solamente un singolo trasferimento dall'estate contract al nuovo proprietario, nel momento in cui il nuovo proprietario toglie un parcel dall'estate che ha comprato. Solamente nelle transazioni dell'estate vedremo il cambio di proprietà e il prezzo a cui è stato venduto. Grazie a queste informazioni possiamo solo stimare il valore dei singoli parcel. Un esempio esplicativo nella Figura 5.3.

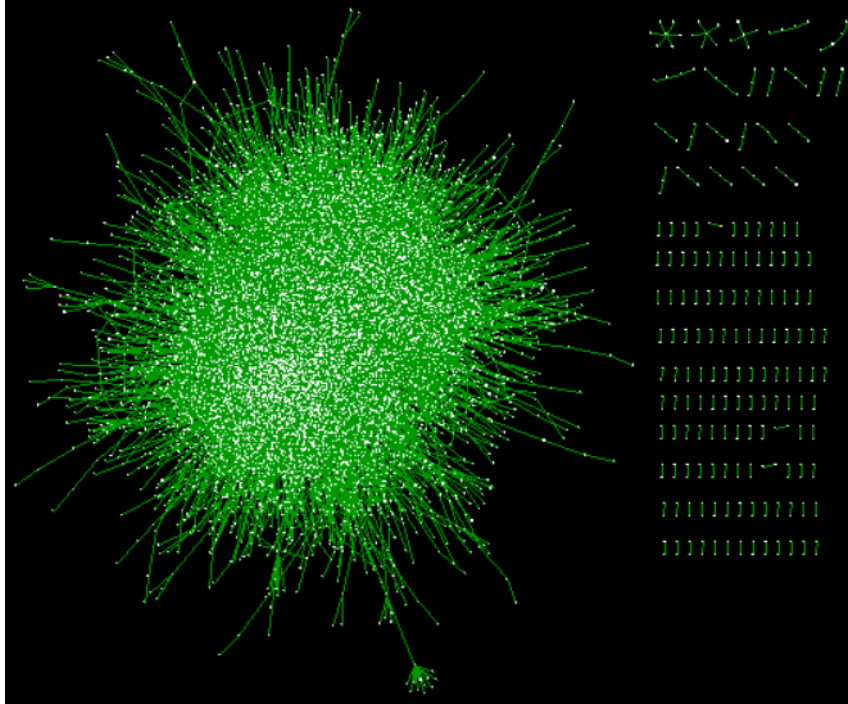


Figura 5.2: Grafo delle vendite relative ai parcel, il grafo è diretto e gli archi sono pesati, i nodi sono gli account e gli archi rappresentano le vendite di NFT. **N° Nodi:** 7670 **N° Archi:** 27353.

In questa Figura, notiamo che nel primo trasferimento l'account (0x8b51c) toglie un parcel da un estate, mentre nel secondo trasferimento lo stesso account, nella stessa data, lo raggiunge nuovamente ad un estate tramite il relativo contratto (0x959e1). Nell'ultimo trasferimento l'NFT viene trasferito dal contract ad un nuovo indirizzo (0xa1ecb). Da quest'ultimo trasferimento si deduce che il parcel in questione è stato venduto o trasferito ad un altro account mentre faceva parte di un estate. Perciò, pur essendo stato venduto, non avremo un prezzo associato al singolo NFT, ma solo la traccia dell'avvenuto passaggio di proprietà. Possiamo solo stimare il valore di vendita del singolo NFT conoscendo il prezzo a cui è stato venduto l'estate di cui faceva parte e da quanti parcel era composto. Oltre all'estate contract, tra i nodi con la centralità più alta c'è anche l'indirizzo corrispondente al **Null address** (0x00000) cioè l'account coinvolto nella creazione dell'NFT. Questo nodo avrà solamente archi uscenti, corrispondenti alla creazione di parcel. Gli archi in uscita dal Null address rappresentano trasferimenti gratuiti dato che la maggior parte delle creazioni sono gratuite, poiché solo un numero ristretto di parcel ha associata una vendita con il Null address. Non tutti i parcel hanno come prima transazione quella con il Null address. Degli 81,513 NFT che rappresentano delle parcel e che hanno almeno una transazione associata, solo 57,631 hanno come prima transazione quella con il Null address. Questo succede perché il deploy dello smart contract dei parcel sulla blockchain è avvenuto successivamente all'evento di terraform auction ¹, quindi per i parcel venduti prima del deploy del contract non

¹Evento virtuale durante il quale gli utenti hanno potuto acquistare le parcel che avrebbero composto il mondo di decentraland

```

data: 2018-10-25 00:18:22 Trasferimento
from: 0x959e104e1a4db6317fa58f8295f586e1a978c297
to: 0x8b51c1ba09ee33e7649cac62ccb6d0f410f5647a

data: 2018-10-25 23:43:34 Trasferimento
from: 0x8b51c1ba09ee33e7649cac62ccb6d0f410f5647a
to: 0x959e104e1a4db6317fa58f8295f586e1a978c297

data: 2019-03-05 23:19:32 Trasferimento
from: 0x959e104e1a4db6317fa58f8295f586e1a978c297
to: 0xa1ecb46c0be223dff23efda8bd553d17b938af47

```

Figura 5.3: Trasferimenti con il contract associati ad un parcel

troveremo la transazione della creazione.

Gli account rimanenti, con il degree nettamente più alto rispetto agli altri nodi, sono indirizzi coinvolti in scambi di parcel legati alle **strade, piazze o distretti** di Decentraland. La maggior parte dei loro archi entranti provengono dal Null address, mentre tutti gli archi uscenti sono verso l'estate contract e sono archi dove il prezzo è pari a zero quindi sempre trasferimenti gratuiti. In particolare tra questi c'è l'account: **0xf081eda01d8d3b10f6f93ff1459339b9ed174d3c** che è il nodo con il degree più alto dopo lo estate contract. Questo fenomeno è dovuto dalla natura di questi parcel, che non possono essere ceduti perché il loro scopo infatti è quello di facilitare lo spostamento e la rigenerazione dei player. Una volta che queste parcel sono state create, queste zone sono state subito assegnate ad un estate e trasferite ad account interni alla piattaforma, per evitare che venissero modificate.

Considerando il grafo che contiene solamente le vendite, si nota come il numero di archi e di nodi è notevolmente inferiore rispetto al grafo precedente, dato che il numero di trasferimenti gratuiti è di gran lunga superiore al numero delle vendite. Questo fenomeno è dovuto principalmente dall'assenza degli archi di alcuni account "speciali", come l'indirizzo del estate contract, infatti il peso di tutti i suoi archi è pari a zero ed è il nodo con il degree più alto. Un altro account che ha perso molti archi è quello corrispondente al **Null address**, per il quale solo una minima parte dei suoi trasferimenti sono delle vendite. Comunque il **Null address** risulta anche nel grafo delle vendite (Figura 5.2) il nodo con la centralità più alta, insieme all'account **0xe479dfd9664c693b2e2992300930b00bfde08233**, il quale è un indirizzo associato al contratto utilizzato da Decentraland per implementare un sistema interno di aste. In questo caso il trasferimento del parcel non è diretto da venditore ad acquirente, ma viene spezzato in due transazioni: una per la messa all'asta e una per la vendita vera e propria.

In Figura 5.4 una transazione che coinvolge l'account delle aste **0xe479d**. Come vediamo dalla Figura, abbiamo due transazioni separate che coinvolgono l'account **0xe479d** e che avvengono allo stesso momento. In questo caso in realtà l'account con indirizzo **0x7279** vende l'NFT a **0x7103a** accettando un'offerta di 24000 mana. Il trasferimento dell'NFT non avviene tra i due account, ma viene spezzato in due transazioni con l'account **0xe479d** che fa da intermediario per il trasferimento.

```
data: 2019-09-22 19:23:21 Vendita -> price: 24000.0 Valuta: MANA
from: 0x7279532c307c140d5594142eee1efc6523c529ed
to: 0xe479dfd9664c693b2e2992300930b00bfde08233

data: 2019-09-22 19:23:21 Vendita -> price: 24000.0 Valuta: MANA
from: 0xe479dfd9664c693b2e2992300930b00bfde08233
to: 0x7103a727dd976fcb389921ceb148d2ea03e484b6
```

Figura 5.4: Esempio vendita NFT da l'account **0x7279** a **0x7103a** per 24000 mana

5.2.2 Analisi dei grafi degli Estate

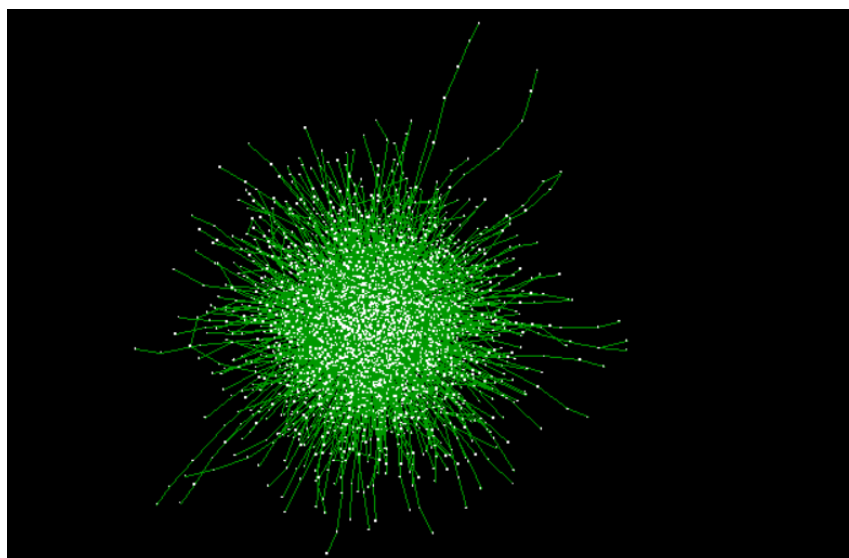


Figura 5.5: Grafo dei trasferimenti totali relativi agli estate, il grafo è diretto e gli archi sono pesati, i nodi sono gli account e gli archi sono i trasferimenti di NFT. **N° Nodi:** 2691 **N° Archi:** 9820

In Figura 5.5 mostriamo una rappresentazione grafica del grafo dei trasferimenti degli estate, dove i nodi modellano gli indirizzi Ethereum e gli archi modellano i trasferimenti degli estate, mentre in Figura 5.6 mostriamo una rappresentazione grafica del grafo delle vendite degli estate, dove i nodi modellano gli indirizzi Ethereum e gli archi modellano le vendite degli estate. Nel grafo dei trasferimenti consideriamo entrambi i tipi di archi, sia gli archi con prezzo diverso da zero (**vendite**), sia gli archi con prezzo uguale a zero (**trasferimenti**), mentre nel grafo delle sole **Vendite** prendiamo in considerazione solo gli archi dove il prezzo è diverso da zero. Similmente all'analisi svolta per gli scambi parcel, abbiamo eseguito le stesse analisi sul grafo dei trasferimenti di estate e su quello delle vendite. Rispetto al grafo totale dei parcel (Figura 5.1), nel grafo totale dei trasferimenti degli estate, troveremo un'unica componente debolmente connessa (vedere Tabella 5.1). Al contrario, nel grafo delle vendite degli estate (Figura 5.6) troviamo una situazione simile a quella del grafo dei parcel, ovvero un grafo composto da numerose componenti connesse, di cui

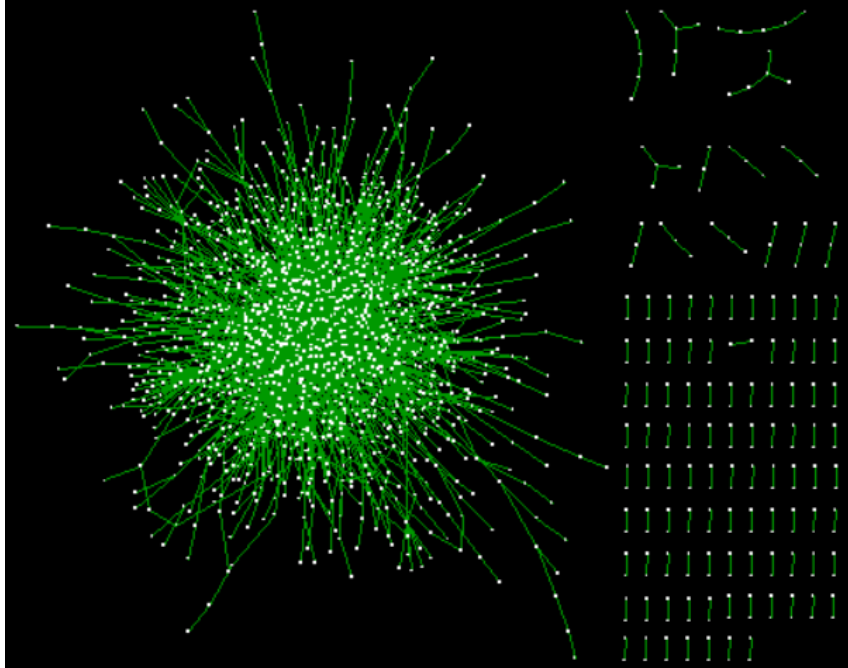


Figura 5.6: Grafo delle vendite relativi agli estate, il grafo è diretto e gli archi sono pesati, i nodi sono gli account e gli archi sono le vendite di NFT. **N° Nodi:** 1682 **N° Archi:** 3138]

una che include la maggior parte dei nodi e delle componenti più piccole formate il più delle volte da account che hanno effettuato pochi trasferimenti di NFT. Il grafo delle vendite assume questa struttura proprio grazie all'assenza del **Null address** `0x00000`, dato che la creazione dell'NFT è gratuita, quindi i suoi archi non sono presenti nel grafo delle vendite. Dalla Tabella 5.1, notiamo che passando al grafo delle vendite il numero degli archi diminuisce notevolmente e i nodi sono meno interconnessi tra loro, mentre nel grafo totale degli estate i nodi sono più interconnessi dove le componenti connesse arrivano ad avere anche più di 18 nodi. Paragonando i parcel e gli estate possiamo notare che il numero dei trasferimenti degli estate e degli account coinvolti è molto inferiore rispetto ai trasferimenti dei parcel, quindi che gli estate vengono venduti meno frequentemente. Questo fenomeno è da imputare al fatto che i prezzi di vendita degli estate sono spesso notevolmente più alti, dato che per loro natura gli estate sono formati da un insieme di due o più parcel, quindi solo un numero molto ristretto di utenti può permettersi gli acquisti di questi NFT. Analizzando la centralità e il degree dei nodi, anche in questo caso il **Null address** è il nodo con il **degree** più alto, ma rispetto ai parcel la creazione degli estate non prevede alcun pagamento, quindi gli archi uscenti saranno sempre trasferimenti gratuiti. È presente anche in questo caso l'account `0xe479dfd9664c693b2e2992300930b00bfde08233` che è il secondo nodo con la centralità più alta. Anche nel grafo delle vendite l'account `0xe479dfd9664c693b2e2992300930b00bfde08233` è l'unico nodo con il degree nettamente più alto rispetto ai rimanenti account.

5.3 Analisi dei Cicli

A seguito di un'analisi sulla struttura del grafo in generale, ci siamo concentrati sullo studio di alcuni pattern di scambio dei parcel. Lo studio dei pattern può rivelare importanti proprietà e fenomeni, inclusi wash trading [20] e price pumping. In particolare in questa tesi ci siamo concentrati sui cicli di scambio, ovvero i casi in cui un utente entra in possesso dello stesso NFT più di una volta.

All'interno del grafo dei parcel abbiamo individuato che in **457** parcel ci sono casi di scambi reciproci dello stesso NFT. Di questi, in circa **160** parcel gli scambi sono delle effettive vendite assimilabili al fenomeno dello **Wash trading**. In questi casi l'NFT appena acquistato viene rivenduto a prezzo più alto allo stesso venditore in modo tale da far credere che l'NFT sia molto richiesto, con lo scopo ultimo di "gonfiare" il prezzo di vendita ed ottenere un guadagno consistente. L'NFT verrà così scambiato ripetutamente tra i due indirizzi, probabilmente appartenenti allo stesso utente, per poi essere rivenduto ad account terzo, ad un prezzo più alto rispetto al valore reale dell'NFT. Quando invece gli scambi reciproci tra gli account sono gratuiti, probabilmente lo scopo è di aumentare la visibilità dell'NFT per raggiungere più acquirenti. Naturalmente questi tipi di scambi possono anche coinvolgere più account, andando a creare dei pattern ben delineati come mostrato nella Figura 5.7.

Uno dei casi più semplici è mostrato in Figura 5.7 (a), dove un utente, identificato dal nodo giallo, effettua molti scambi con gli altri utenti, identificati dai nodi bianchi. La particolarità di questo pattern di scambi è che, ogni volta che l'NFT viene trasferito dal nodo giallo a quello bianco, successivamente quello bianco lo restituirà al nodo giallo. Un caso analogo è presente in Figura 5.7 (b), dove i 3 nodi coinvolti si scambiano lo stesso NFT tra di loro. Un esempio molto più complesso è mostrato in Figura 5.7 (c), dove possiamo notare un nodo predominante all'interno della rete di scambio, ma notiamo anche che esistono molti nodi coinvolti che formano a loro volta delle sottoreti di scambio.

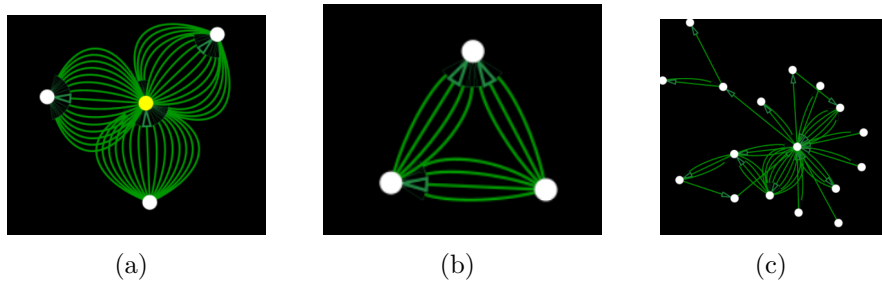


Figura 5.7: Esempi di pattern di scambi reciproci tra account

Se pur in numero minore, lo stesso fenomeno è presente nel grafo degli estate dove ci sono **146** estate in cui troviamo casi di scambi reciproci di cui **9** assimilabili a wash trading. Spesso gli account coinvolti in questi trasferimenti li ritroviamo in molti di questi scambi reciproci di NFT. Un'altra peculiarità del grafo degli estate è la presenza di alcuni **self edge** che sono casi in cui un account si auto trasferisce un estate che già possiede. Un esempio di attività sospetta assimilabile al fenomeno dello Wash Trading è mostrata in Figura 5.8.


```

data: 2018-12-23 17:30:02 Trasferimento
      from: 0x0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
      to: 0xe6be2096dbe9560cfb01b45804514d075d6585bc

data: 2020-09-11 23:28:16 Vendita: 1873.48 $
      from: 0xe6be2096dbe9560cfb01b45804514d075d6585bc
      to: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c

data: 2020-11-09 18:58:17 Vendita: 2442.9 $
      from: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c
      to: 0xe6be2096dbe9560cfb01b45804514d075d6585bc

data: 2020-12-05 21:16:20 Vendita: 4772.76 $
      from: 0xe6be2096dbe9560cfb01b45804514d075d6585bc
      to: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c

data: 2021-02-28 18:51:40 Vendita: 12319.63 $
      from: 0x88341d1a8f672d2780c8dc725902aae72f143b0c
      to: 0xe6be2096dbe9560cfb01b45804514d075d6585bc

```

Figura 5.8: scambi reciproci dello stesso parcel

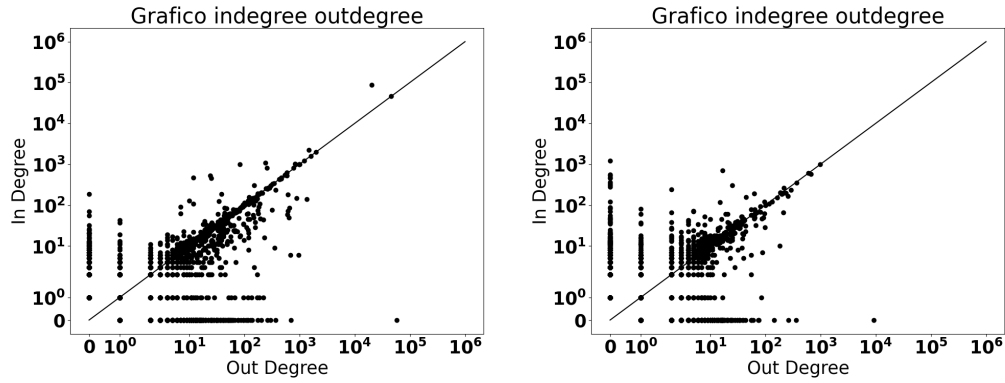
Nel caso riportato in Figura riportiamo la storia delle vendite associate ad un parcel a partire dal 2018 fino alla fine del 2021. L’NFT viene creato a fine del 2018 e tutti gli scambi successivi avvengono tra due account (0xe6be2 e 0x88341) che si trasferiscono reciprocamente l’NFT aumentando ad ogni transazione il prezzo di vendita. Infatti a fine del 2021, nell’ultimo trasferimento, notiamo che il prezzo dell’NFT è quasi decuplicato rispetto alla prima vendita. In questo modo si potrà rivendere ad un futuro acquirente l’NFT ad un prezzo gonfiato che non corrisponde al reale valore del token.

5.4 Analisi Degree dei Nodi

Nelle due sezioni successive andiamo a studiare il degree dei nodi dei Grafi dei Parcel e degli Estate.

Concentriamo adesso la nostra attenzione sullo studio di alcune proprietà del grafo dei parcel per permetterci di individuare alcuni nodi chiave presenti nell’ecosistema di Decentraland. Per fare questo, abbiamo studiato il grado dei nodi nel grafo dei parcel. La distribuzione bivariata del grado dei nodi del grafo di trasferimenti e vendite dei parcel è mostrata in Figura 5.9.

Osservando entrambi i grafici in Figura 5.9, possiamo notare che i punti tendono a distribuirsi sulla diagonale. Infatti per molti account c’è una sostanziale uguaglianza



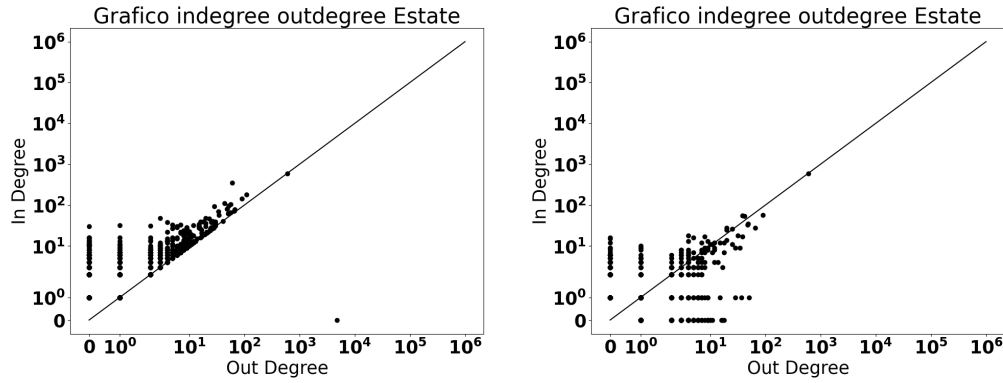
(a) Distribuzione bivariata del grado dei nodi del grafo dei trasferimenti totali relativi ai parcel.
 (b) Distribuzione bivariata del grado dei nodi del grafo delle vendite relative ai parcel.

Figura 5.9: Distribuzione bivariata del grado dei nodi dei grafi dei parcel.

za tra il numero delle vendite o dei trasferimenti gratuiti e il numero degli acquisti. Questo risultato ci porta a pensare che spesso gli utenti tendono a scambiarsi frequentemente i terreni che acquistano, piuttosto che sfruttarli attivamente all'interno del metaverso di Decentraland costruendo le proprie attività. Inoltre, possiamo notare in entrambi i grafici la presenza di molti nodi con In degree o Out degree pari a zero. Gli account con il valore di in degree pari a zero, ovvero che hanno effettuato solo vendite o trasferimenti, sono indirizzi che hanno ottenuto i loro terreni durante l'evento di "Terraform auction" (Sezione 3.2) per questo non risulta nemmeno la transazione di creazione con il Null address. I secondi sono invece account che hanno acquistato o ottenuto gratuitamente parcel senza mai rivenderli. Tra gli account con In-degree pari a zero naturalmente c'è anche l'account del **Null address** che è il nodo con l'Out degree più alto in entrambi i grafi, poiché coinvolto nella creazione di tutti gli NFT. Inoltre nel primo grafico (Figura 5.9 (a)) si possono apprezzare due nodi isolati rispetto agli altri in prossimità della diagonale. Questi sono anche i nodi che hanno tra i più alti valori di In degree e Out degree. Uno dei due punti corrisponde all'account del contract degli estate, mentre l'altro, il punto che giace sulla diagonale, corrisponde all'account `0xf081eda01d8d3b10f6f93ff1459339b9ed174d3c` che appartiene ad un utente interno alla piattaforma dato che risulta coinvolto solamente in scambi di parcel che appartengono ad estate facenti parte di strade, piazze o distretti.

A seguito dell'analisi riguardanti il grado dei nodi nei grafi di trasferimenti e vendite dei parcel, proponiamo il medesimo studio per i grafi degli estate. La distribuzione bivariata del grado dei nodi del grafo di trasferimenti e vendite degli estate è mostrata in Figura 5.10.

Osservando il grafico in Figura 5.10(a) notiamo che la maggior parte dei punti si trovano al di sopra della diagonale, quindi che per la maggior parte degli account il numero di vendite o dei trasferimenti gratuiti è inferiore o uguale al numero degli acquisti. Questo ci dimostra che, al contrario di ciò che accade con i parcel, gli utenti tendono a non vendere i propri estate, ma ad utilizzarli per ospitare le pro-



(a) Distribuzione bivariata del grado dei no- (b) Distribuzione bivariata del grado dei no-
di del grafo dei trasferimenti relativi alle di del grafo delle vendite relativi alle estate.
estate.

Figura 5.10: Distribuzione bivariata del grado dei nodi dei grafi degli estate.

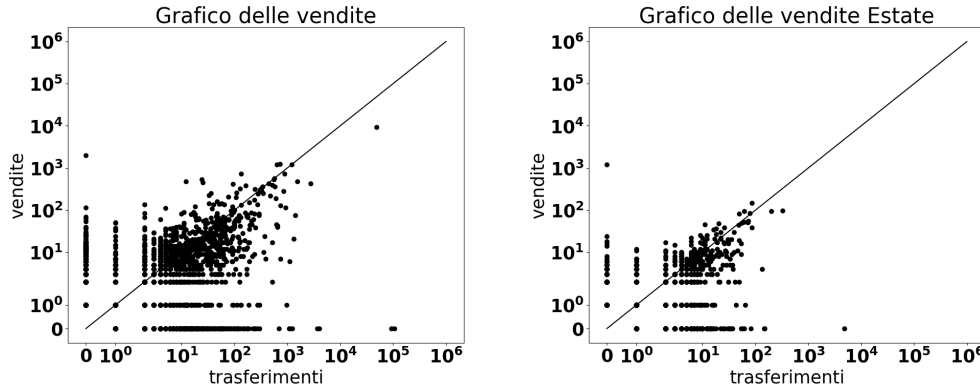
prie attività. Solo un nodo fa eccezione a questa osservazione, che corrisponde al **Null address**, il quale ha l'Out-degree più alto di tutti e In-degree pari a zero, dato che l'indirizzo è coinvolto solamente nella creazione dell'NFT. Prendendo in considerazione solo le vendite (Figura 5.10 (b)), possiamo notare invece una sostanziale differenza sia con il grafico precedente che con i grafico delle vendite dei parcel. I punti Figura 5.10 (b) si allontanano dalla diagonale perché ci sono numerosi account che hanno effettuato solo vendite o solo acquisti. Questa differenza ci dimostra che in realtà il grafico (Figura 5.10 (a)) è molto influenzato dai trasferimenti gratuiti effettuati dagli account, in particolare dai trasferimenti con il Null address per la creazione dell'NFT. Rispetto al grafico totale in questo caso, osservando entrambi gli assi notiamo che ci sono account che hanno effettuato solamente acquisti o vendite. Il nodo con i valori più alti, isolato nella parte alta della diagonale, in entrambi i grafici corrisponde all'indirizzo `0xe479dfd9664c693b2e2992300930b00bfde08233`, che rappresenta il contratto utilizzato da Decentraland per implementare un sistema interno di aste.

5.5 Acquisizione Parcel ed Estate

Spostiamo ora la nostra attenzione sulle modalità di acquisizione di parcel ed estate da parte degli utenti. Questa analisi è fondamentale per comprendere in dettaglio come gli utenti entrano in possesso e vendono parcel ed estate. Inizialmente facciamo un'analisi sulla correlazione tra i trasferimenti gratuiti e sulle vendite effettuate da ogni account, poi concentriamo l'attenzione sui metodi di acquisizione degli NFT da parte degli utenti, mettendo in correlazione, per ogni indirizzo, il numero di NFT acquistati e quelli ottenuti grazie ad un trasferimento gratuito.

Per questa analisi, riportiamo in Figura 5.11 la distribuzione bivariata del numero di vendite e trasferimenti effettuate da ogni indirizzo che compare nel nostro dataset.

In entrambi i grafici i punti non si concentrano intorno alla diagonale, perciò risulta che non c'è una vera e propria correlazione tra i due tipi di scambi sia per



(a) Distribuzione bivariata del numero di vendite e numero di trasferimenti gratuiti di parcel per indirizzo. (b) Distribuzione bivariata del numero di vendite e numero di trasferimenti gratuiti di estate per indirizzo

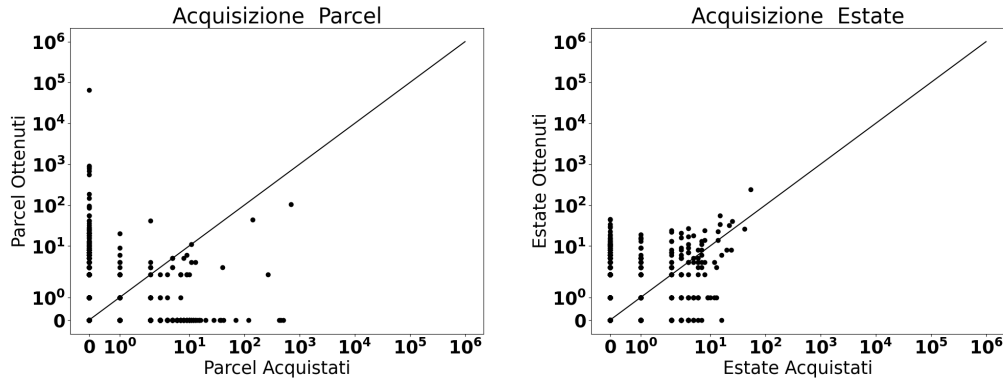
Figura 5.11: Distribuzione bivariata del numero di vendite e numero di trasferimenti gratuiti di NFT per indirizzo.

gli estate che per i parcel. Possiamo inoltre osservare nel primo grafico (Figura 5.11 (a)) che molti account non sono coinvolti in nessuna vendita di parcel. Infatti, in molti parcel, gli unici trasferimenti presenti sono quelli che coinvolgono il contract degli estate o il null address. Questo ci ribadisce che gli utenti sfruttano molto la funzionalità degli estate per poter gestire i parcel adiacenti in gruppo piuttosto che singolarmente.

Il grafico degli estate (Figura 5.11 (b)) ha una struttura molto simile a quella osservata per i parcel. Anche in questo caso non c'è una vera e propria correlazione tra vendite e trasferimenti. Osservando l'asse delle x, notiamo che anche in questo grafico ci sono numerosi account che sono coinvolti solamente in trasferimenti gratuiti di estate, la maggior parte di questi account hanno creato degli estate senza mai rivenderli o trasferirli. Tra questi naturalmente troviamo gli account interni alla piattaforma, citati in precedenza, che posseggono gli estate delle strade e piazze di Decentraland. I due indirizzi con il numero di trasferimenti gratuiti di parcel più alti corrispondono al **contract** degli estate e all'account `0xf081eda01d8d3b10f6f93ff1459339b9ed174d3c`, mentre per quanto riguarda l'asse delle y troviamo il **Null Address** e l'account `0xe479d` che sono coinvolti nel maggior numero di vendite, quest'ultimo anche nel grafico delle vendite degli estate.

Spostiamo quindi la nostra attenzione, proponendo un'analisi che mostra come gli indirizzi presenti nel dataset sono entrati in possesso di parcel ed estate al momento dell'acquisizione del nostro dataset. La Figura 5.12 mostra la distribuzione bivariata del numero di parcel ed estate acquisiti tramite vendite e trasferimenti.

In entrambi i grafici riportati in Figura 5.12 la maggior parte dei punti si distribuiscono sugli assi delle ascisse e delle ordinate. Questo ci indica che sia per parcel che per estate gli indirizzi tendono ad acquisire i rispettivi NFT perlopiù o tramite vendite o tramite trasferimenti. Questo fenomeno, per quanto riguarda i parcel, è causato dai trasferimenti con lo estate contract. Infatti quando un parcel viene tolto da un estate ci sarà una transazione dall'indirizzo del contract all'account



(a) Distribuzione bivariata del numero di parcel acquistati (asse x) e del numero di estate acquistati (asse x) e del numero di parcel acquisiti gratuitamente (asse y) per estate acquisiti gratuitamente (asse y) per ogni account

Figura 5.12: Distribuzione bivariata del numero di NFT acquistati (asse x) e del numero di NFT acquisiti gratuitamente (asse y) per ogni account

del proprietario o viceversa se il parcel viene aggiunto ad un estate. Quindi se un parcel è stato tolto recentemente da un estate risulterà che quell'utente ha acquisito il parcel gratuitamente. Anche nel grafico degli estate (Figura 5.12(b)) i punti si trovano perlopiù sull'asse delle y, questo perché in molti estate è presente solamente il trasferimento che avviene al momento della creazione cioè quello dal **Null address** all'attuale proprietario. I risultati che otteniamo da entrambi i grafici ci ribadiscono la tendenza degli utenti nel gestire i parcel in gruppo, piuttosto che singolarmente.

5.6 Analisi dei prezzi di Vendita

In questa Sezione concentreremo la nostra attenzione sui prezzi di vendita di parcel ed estate ad ogni loro scambio, con l'obiettivo di gettare luce su dei possibili pattern di andamento del prezzo. Nell'analizzare i prezzi di vendita, in tutti i parcel vengono tolte le transazioni che coinvolgono il contract degli estate, perché, come spiegato in precedenza, questi tipi di transazioni non comportano realmente un cambio di proprietà. Nell'analizzare i prezzi di vendita utilizziamo due approcci differenti come riportato nella Sezione 4.3.2. Ci sono quattro boxplot del prezzo di vendita dei parcel e altrettanti boxplot per il prezzo di vendita degli estate.

5.6.1 Analisi dei prezzi dei Parcel

Nelle Figure 5.14,5.13 riportiamo i Boxplot del prezzo di vendita dei parcel, dove l'i-esimo box corrisponde all'i-esima distribuzione del prezzo di vendita. I box rappresentano il primo, secondo e terzo quartile della distribuzione del prezzo di vendita, mentre gli whiskers sono ottenuti aggiungendo e togliendo 1.5 volte l'ampiezza interquartile. I cerchi rappresentano gli outliers.

Dallo studio riportato in Figura 5.13 il valore di vendita dei parcel tende a rimanere

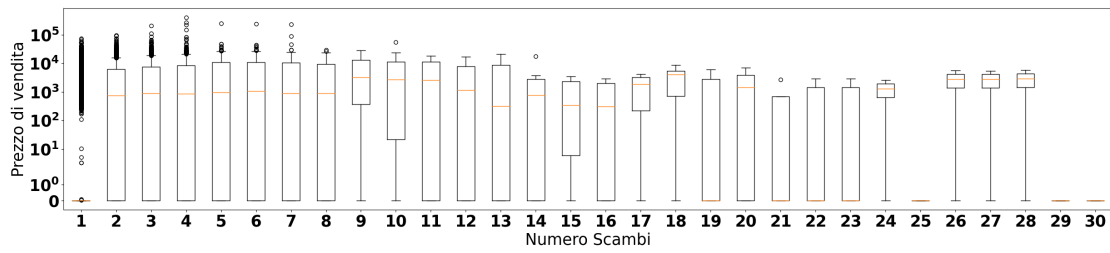


Figura 5.13: Boxplot del prezzo di vendita dei parcel. Quando c'è un trasferimento gratuito del parcel, il prezzo associato allo scambio è zero

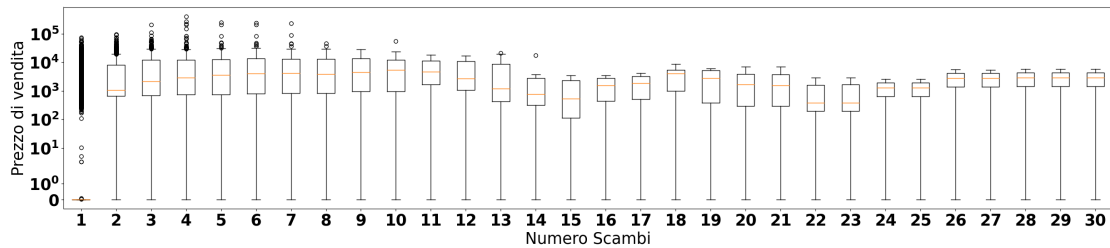


Figura 5.14: Boxplot del prezzo di vendita dei parcel. Quando c'è un trasferimento gratuito del parcel, viene preso come prezzo quello associato alla vendita precedente.

perlopiù costante, attestandosi tra i 1,000 e i 10,000 dollari. In particolare il nono scambio tende ad essere effettuato per un valore mediamente più alto rispetto agli scambi precedenti e successivi. Successivamente, il prezzo di vendita tende ad oscillare scendendo fino al ventiseiesimo e risalendo solo negli ultimi scambi. Riguardo a questi ultimi, il numero dei parcel che sono coinvolti in più di venti scambi è basso quindi il valore medio dei prezzi è condizionato da un numero ridotto di parcel. Nel primo scambio la distribuzione il grafico si schiaccia sullo zero, ma questo è dovuto dal fatto che la maggior parte dei trasferimenti dal **Null address** sono gratuiti. Notiamo anche la presenza soprattutto in questo scambio di molti *Outlier*, questi sono sia le vendite associate al *Null address* che sono circa il 5% dei trasferimenti totali dell'indirizzo, sia le vendita associate a quei parcel che non hanno come primo scambio la transazione con il Null address. La presenza degli outlier continua circa fino al settimo scambio, questo perché gli NFT sono stati creati in periodi differenti, ci sarà quindi una differenza sostanziale negli scambi dei prezzi di vendita tra i parcel creati nel 2018 e quelli creati negli anni successivi. Il prezzo più alto raggiunto da un parcel è pari a 405406\$ per una vendita avvenuta a dicembre 2021 per l'acquisto di un parcel nelle zona adiacente alla piazza principale di Decentraland.

Nelle Figure 5.15,5.16 riportiamo i Boxplot della variazione del prezzo di vendita dei parcel (rispetto alla vendita precedente), dove l'i-esimo box corrisponde all'i-esima distribuzione della variazione del prezzo di vendita. I box rappresentano il primo, secondo e terzo quartile della distribuzione del prezzo di vendita, mentre gli whiskers sono ottenuti aggiungendo e togliendo 1.5 volte l'ampiezza interquartile. I cerchi rappresentano gli outlier. Dopo aver studiato i prezzi di vendita, andiamo ad analizzare le variazioni di prezzo tra una vendita e l'altra. Dai grafici possiamo notare che i prezzi di vendita dei parcel non tendono a crescere, ma hanno anzi

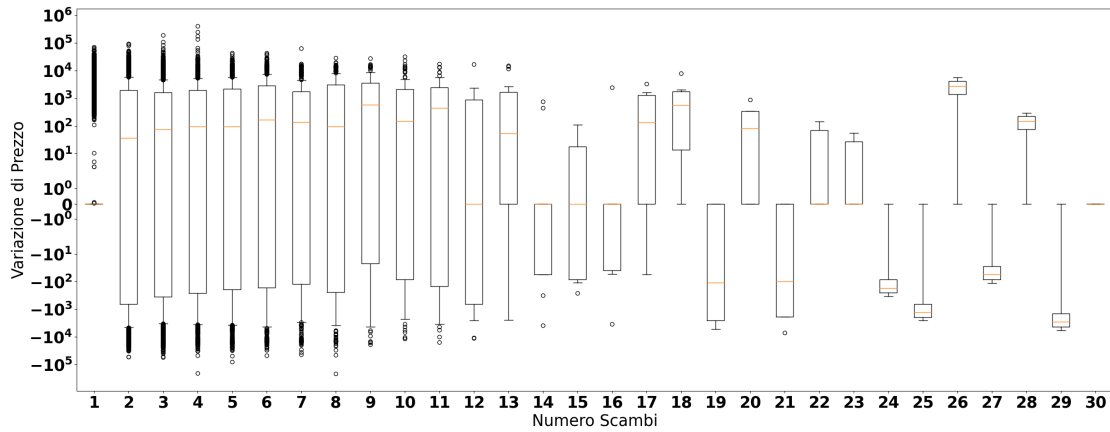


Figura 5.15: Boxplot della variazioni del prezzo di vendita dei parcel. Quando c'è un trasferimento gratuito del parcel, il prezzo associato allo scambio è zero

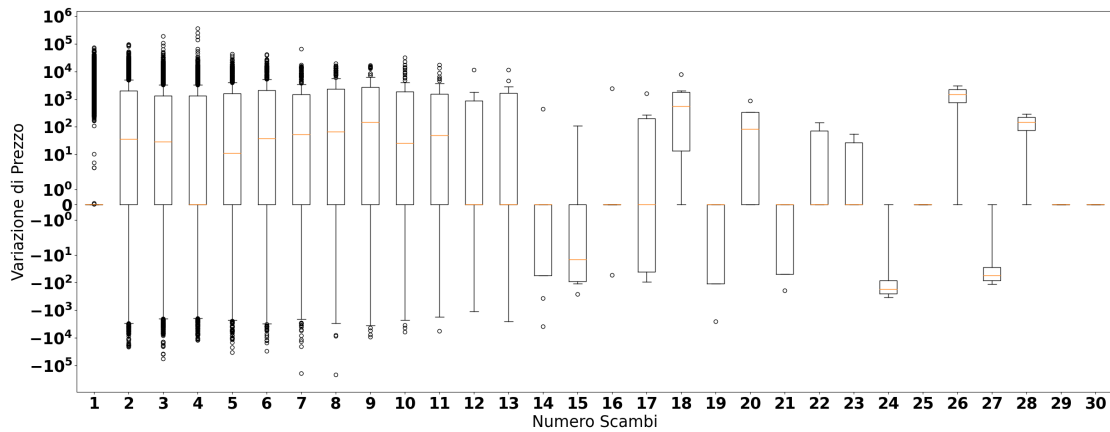


Figura 5.16: Boxplot della variazione del prezzo di vendita dei parcel. Quando c'è un trasferimento gratuito del parcel, viene preso come prezzo quello associato alla vendita precedente.

un'evoluzione molto irregolare. In particolare, se è vero che in media i prezzi tendono ad aumentare, in particolar modo nelle prime 13 vendite, il prezzo di vendita di numerosi parcel cala. Addirittura, in alcuni casi le variazioni dei prezzi vanno in negativo in tutte le transazioni in particolare al diciannovesimo e al ventunesimo scambio. Osservando il secondo grafico in Figura 5.16 notiamo come fino al tredicesimo scambio la variazione dei prezzi è sostanzialmente positiva, per poi andare completamente in negativo nei due scambi successivi. Invece nel primo grafico (Figura 5.15) anche nei primi scambi i box si estenderanno al di sotto dell'asse delle x, quindi paragonandolo con il grafo precedente, si nota che questa differenza è imputabile all'elevato numero di trasferimenti gratuiti che fanno precipitare il prezzo di vendita.

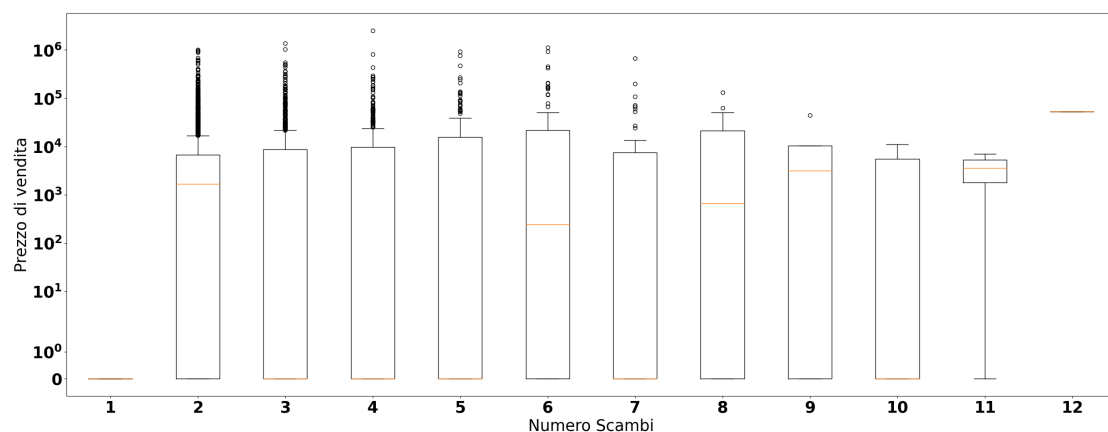


Figura 5.17: Boxplot del prezzo di vendita degli estate. In questo caso, quando c'è un trasferimento gratuito dell'estate, il prezzo di vendita associato allo scambio è zero

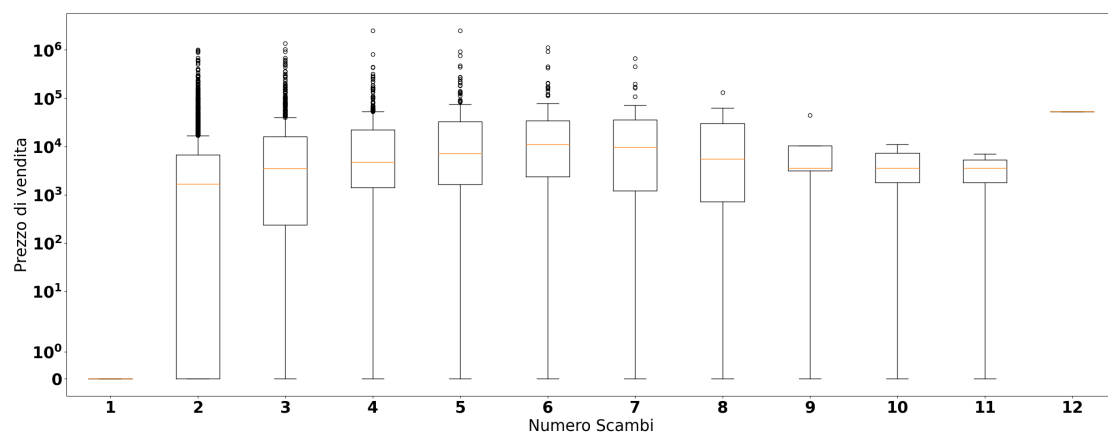


Figura 5.18: Boxplot del prezzo di vendita degli estate. In questo caso, quando c'è un trasferimento gratuito dell'estate, viene preso come prezzo quello associato alla vendita precedente.

5.6.2 Analisi dei prezzi degli Estate

Nelle Figure 5.17, 5.18 riportiamo i Boxplot del prezzo di vendita degli estate, dove l' i -esimo box corrisponde all' i -esima distribuzione del prezzo di vendita. I box rappresentano il primo, secondo e terzo quartile della distribuzione del prezzo di vendita, mentre gli whiskers sono ottenuti aggiungendo e togliendo 1.5 volte l'ampiezza interquartile. I cerchi rappresentano gli outliers. Concentrando sempre l'attenzione sul valore dei terreni, in questa sezione andiamo ad analizzare la distribuzione dei prezzi degli estate. Osservando la Figura 5.17 si nota che similmente ai parcel, i prezzi di vendita rimangono costanti aggirandosi tra i 1000 e i 10000 dollari, al sesto scambio si raggiungono i valori mediamente più alti degli estate che superano anche i 10000 dollari. I prezzi tendono a scendere negli scambi successivi ma rimanendo comunque nella stessa fascia di prezzo. In entrambi i grafici notiamo, soprattutto nel secondo scambio, la presenza di molti Outlier, questo probabilmente è causato dal fatto che confrontando i secondi scambi degli estate, le date delle

vendite sono molto diverse tra loro, questo perché un estate può essere creato in qualsiasi momento. Quindi dato che il valore del MANA è aumentato notevolmente dal 2018 fino ad oggi, avremo delle differenze di prezzo sostanziali tra un secondo scambio avvenuto nel 2018 e uno avvenuto negli anni successivi, naturalmente lo stesso fenomeno si ripete anche negli scambi successivi, per poi diminuire al settimo scambio. Un'ulteriore motivazione che spiega questo fenomeno è che gli estate sono molto diversi tra loro, infatti rispetto ai parcel che hanno una dimensione fissa, la dimensione di un estate varia con il tempo, di conseguenza il prezzo di uno scambio, oltre ad essere influenzato dal mercato, sarà influenzato dal numero e da quali parcel compongono l'estate in quella vendita. Anche in questo caso, similmente ai prezzi dei parcel, nel primo scambio il grafico si schiaccia sullo zero, dato che la creazione dell'NFT non prevede costi. Il prezzo più alto raggiunto da un estate è pari a 2528137\$ [11] per una vendita avvenuta a Novembre del 2021 per l'acquisto di un estate che conta 116 parcel all'interno del distretto Fashion Street di Decentraland, l'NFT è stato acquistato dalla società d'investimento canadese Tokens.com ed attualmente si tratta della vendita più grande avvenuta sulla piattaforma.

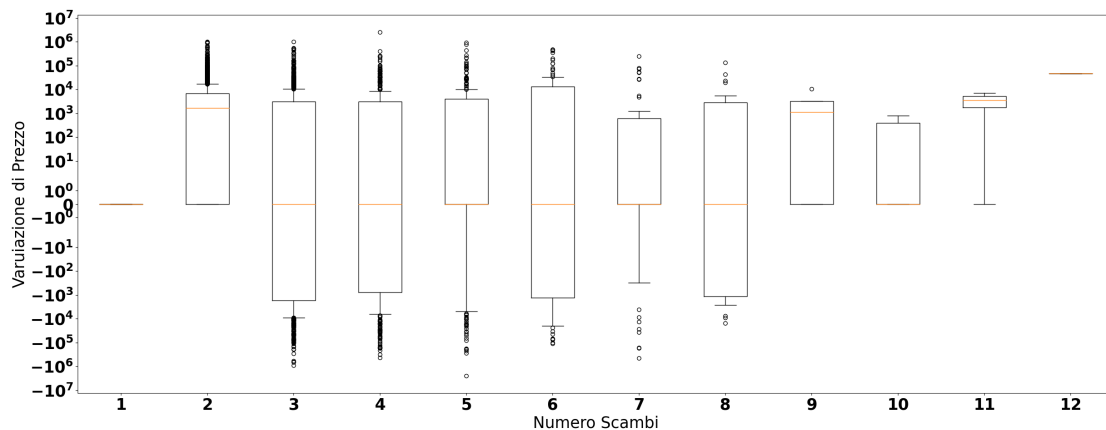


Figura 5.19: Boxplot della variazione del prezzo di vendita degli estate. In questo caso, quando c'è un trasferimento gratuito dell'estate, il prezzo di vendita associato allo scambio è zero.

Nelle Figure 5.19, 5.20 riportiamo i Boxplot della variazione del prezzo di vendita degli estate (rispetto alla vendita precedente), dove l' i -esimo box corrisponde all' i -esima distribuzione della variazione del prezzo di vendita. I box rappresentano il primo, secondo e terzo quartile della distribuzione del prezzo di vendita, mentre gli whiskers sono ottenuti aggiungendo e togliendo 1.5 volte l'ampiezza interquartile. I cerchi rappresentano gli outlier. Concentrando l'attenzione sul secondo grafico (Figura 5.20) i prezzi di vendita in media tendono a crescere in tutti gli scambi, raggiungendo al sesto scambio il picco di maggior crescita, dove gli aumenti di prezzo raggiungono cifre maggiori di 10000 dollari, negli scambi successivi l'aumento dei prezzi diminuisce progressivamente. Naturalmente il fenomeno degli outlier presente nelle Figure 5.17 5.18, si ripete anche nei grafici sulle variazioni di prezzo. Invece osservando il primo grafico (Figura 5.19) vedremo come l'andamento dei prezzi è più irregolare; in alcuni scambi, come il terzo e il quarto, c'è una sostanziale simmetria

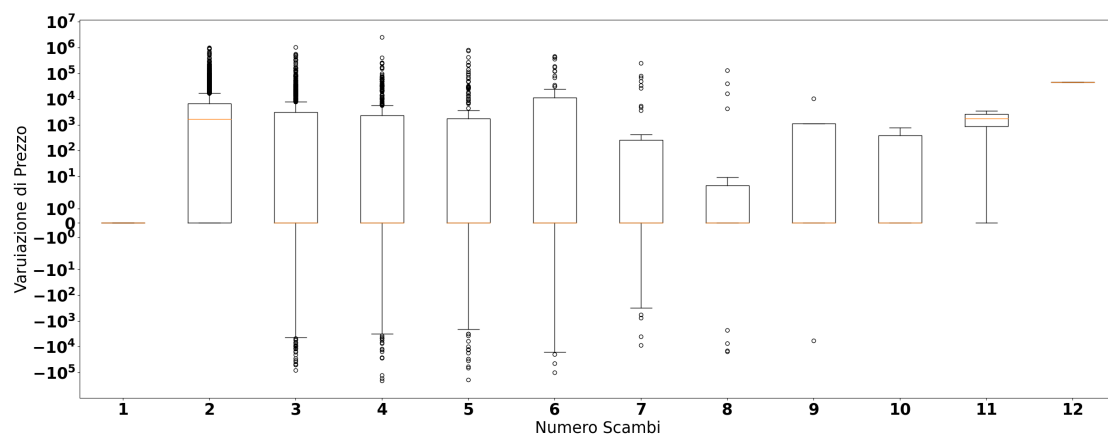


Figura 5.20: Boxplot della variazioni del prezzo di vendita degli estate. In questo caso, quando c'è un trasferimento gratuito dell'estate, viene preso come prezzo quello associato alla vendita precedente.

tra variazioni positive e negative dei prezzi, ma ciò, similmente ai parcel, è causato dall'elevato numero di trasferimenti gratuiti che fanno oscillare la variazione di prezzo estate in negativo o in positivo, dato che in quel caso è come se l'estate sia stato venduto a zero. Quindi nella vendita successiva ad un trasferimento gratuito la variazione di prezzo dell'NFT salirà vertiginosamente, dopo essere andata totalmente in negativo a seguito del trasferimento gratuito.

Capitolo 6

Conclusione

Il metaverso è un universo digitale frutto di molteplici elementi tecnologici, utilizzati per la costruzione di uno spazio virtuale che sia il più immersivo possibile. Uno degli aspetti importanti del metaverso è rappresentato dalla tecnologia **blockchain**. La blockchain è una struttura dati condivisa, definita come un registro decentralizzato di blocchi, che sono strutture dati crittografate su cui vengono memorizzate le transazioni.

Decentraland è una delle prime applicazioni a ricreare un Metaverso basato su blockchain, dove gli utenti tramite i propri avatar socializzano tra loro, creando e monetizzano contenuti e scambiandosi NFT. Proprio per il suo ruolo da protagonista come principale piattaforma del Metaverso, abbiamo analizzato Decentraland, attraverso lo studio dei trasferimenti dei terreni virtuali. In particolare, abbiamo focalizzando l'attenzione sulla natura economica degli NFT, in particolare sui terreni virtuali. Infatti questi tipi di NFT hanno un ruolo centrale sull'esperienza offerta dalla piattaforma per questo ne abbiamo analizzato i trasferimenti e le vendite, cercando di comprendere l'ammontare delle transazioni e la rete di scambi che si è andata a creare tra gli utenti.

Completata la fase di analisi si possono osservare diversi comportamenti sul funzionamento degli NFT di Decentraland. Concentrando l'attenzione sui singoli parcel, notiamo dal grafo delle vendite e dei trasferimenti, che la storia delle vendite di ogni parcel è difficilmente ricostruibile, proprio perché ogni terreno è vendibile sia singolarmente che in gruppo, ciò è causato dalla possibilità che fornisce Decentraland di poter riunire più in NFT, in questo caso **parcel**, in un nuovo NFT (**estate**). Analizzando il grafo dei parcel, si osserva anche una tendenza nello sfruttare il funzionamento degli estate per la gestione dei parcel adiacenti, piuttosto che gestire gli NFT singolarmente. Infatti, come notiamo dai grafici sul grado dei nodi, gli account tendono a vendere frequentemente i parcel che posseggono e al contrario tendono ad utilizzare più frequentemente gli estate per ospitare le proprie attività, infatti quest'ultimi sono coinvolti in molti meno scambi rispetto ai parcel. Ciò si ripercuote anche nell'analisi dei prezzi. Per i parcel notiamo che il prezzo dei terreni ha un'andatura molto irregolare che però in media tende comunque ad aumentare, quindi riusciamo a stimare le variazioni dei prezzi di vendita e trarre delle conclusioni sui valori degli NFT. Negli **estate** invece lo studio dei prezzi risulta più complesso, infatti per loro natura gli estate sono NFT in continuo cambiamento (in qualsiasi

momento l'utente può aggiungere o togliere parcel) quindi il valore dell'NFT oltre ad essere influenzato dal mercato della piattaforma, è influenzato dal numero e dal tipo di parcel presenti in quel momento nell'estate. Studiando la presenza di cicli all'interno dei grafi abbiamo anche individuato un altro fenomeno negli scambi di parcel ed estate, il **Wash Trading**. Infatti analizzando le transazioni dei singoli NFT, in alcuni di essi abbiamo trovato degli account che si scambiavano reciprocamente lo stesso parcel o estate, talvolta i trasferimenti erano gratuiti altre volte erano delle effettive vendite, che avevano lo scopo di far gonfiare il prezzo, per rivendere l'NFT ad un prezzo non corrispondente alla realtà.

In conclusione, questo lavoro di tesi fornisce un'analisi sulle caratteristiche della rete di scambi dei terreni di un mondo virtuale basato sul Metaverso, che ci permette di comprendere maggiormente le dinamiche economiche che stanno dietro agli scambi di NFT. D'altro canto sono ancora molti i punti che andrebbero approfonditi per comprendere a pieno tutti gli aspetti di un mondo basato sul Metaverso, come Decentraland. Numerosi sono i possibili sviluppi futuri del nostro lavoro. Prima di tutto il lavoro di analisi delle transazioni potrebbe concentrarsi sul sistema delle aste di Decentraland, cercando di individuare anomalie sfruttate dagli utenti, come ad esempio la presenza di bot. Un altro studio potrebbe riguardare l'analisi dei fattori che maggiormente influenzano il prezzo di vendita dei parcel, e l'eventuale presenza di truffe derivate da attacchi di ingegneria sociale. Naturalmente il lavoro di analisi potrebbe ampliarsi anche su piattaforme diverse sempre basate sul Metaverso come The Sandbox o Axie Infinity, andando anche a comparare le differenze tra le varie piattaforme.

6.1 Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare va alla mia relatrice Barbara Guidi che mi ha seguito, in ogni step della realizzazione dell'elaborato, fin dalla scelta dell'argomento. Grazie anche al mio correlatore Andrea Michienzi per i suoi preziosi consigli e per avermi suggerito puntualmente le giuste modifiche da apportare alla mia tesi. Ringrazio anche i miei genitori per avermi supportato durante l'intero periodo universitario. Infine Ringrazio i mie coinquilini per aver sopportato le mie lamentele continue negli ultimi mesi e tutti i miei amici, da quelli che conosco dall'infanzia a quelli che ho incontrato nel mio cammino.

Bibliografia

- [1] Hilmi Tunahan Akkus et al. «METAVERSE AND METAVERSE CRYPTOCURRENCIES (META COINS): BUBBLES OR FUTURE?» In: *Journal of Economics Finance and Accounting* 9.1 (), pp. 22–29.
- [2] Ian Allison. «JPMorgan Is the First Bank Into the Metaverse, Looks at Business Opportunities». In: 2022. URL: <https://www.coindesk.com/business/2022/02/15/jpmorgan-is-the-first-bank-into-the-metaverse-looks-at-business-opportunities/>.
- [3] Cesar Castellon et al. «Energy efficient merkle trees for blockchains». In: *2021 IEEE 20th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*. IEEE. 2021, pp. 1093–1099.
- [4] Etherscan APIs documentation. *A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*. URL: <https://docs.etherscan.io/api-endpoints/>.
- [5] Ethereum.org. «A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform». In: Last update 2022. 2014. URL: <https://ethereum.org/en/whitepaper>.
- [6] Youssef Faqir-Rhazoui et al. «Effect of the gas price surges on user activity in the daos of the ethereum blockchain». In: *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2021, pp. 1–7.
- [7] Peter Gaži, Aggelos Kiayias e Dionysis Zindros. «Proof-of-stake sidechains». In: *2019 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*. IEEE. 2019, pp. 139–156.
- [8] Arthur Gervais et al. «On the security and performance of proof of work blockchains». In: *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC conference on computer and communications security*. 2016, pp. 3–16.
- [9] Barbara Guidi e Andrea Michienzi. *NFT and the revolution of the Media world: an overview*, p. 27.
- [10] Barbara Guidi, Andrea Michienzi e Laura Ricci. «Steem blockchain: Mining the inner structure of the graph». In: *IEEE Access* 8 (2020), pp. 210251–210266.
- [11] Elizabeth Howcroft. *Virtual real estate plot sells for record \$ 2.4 million*. 2021. URL: <https://www.reuters.com/markets/currencies/virtual-real-estate-plot-sells-record-24-million-2021-11-23/>.

- [12] Daniel Conte de Leon et al. «Blockchain: properties and misconceptions». In: *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship* (2017).
- [13] Shafaq Naheed et al. *Blockchain smart contracts: Applications, challenge and future trends*. Springer Science + Business Media, p. 22.
- [14] Satoshi Nakamoto. «Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system». In: *Decentralized Business Review* (2008), p. 21260.
- [15] Huansheng Ning et al. «A Survey on Metaverse: the State-of-the-art, Technologies, Applications, and Challenges». In: p. 34.
- [16] Esteban Orlando et al. *Decentraland A blockchain-based virtual world*, p. 24.
- [17] Shahar Somin, Goren Gordon e Yaniv Altshuler. «Network analysis of erc20 tokens trading on ethereum blockchain». In: *International Conference on Complex Systems*. Springer. 2018, pp. 439–450.
- [18] Ali Sunyaev. «Distributed ledger technology». In: *Internet Computing*. Springer, 2020, pp. 265–299.
- [19] Friedhelm Victor e Bianca Katharina Lüders. «Measuring ethereum-based erc20 token networks». In: *International Conference on Financial Cryptography and Data Security*. Springer. 2019, pp. 113–129.
- [20] Victor von Wachter et al. «NFT Wash Trading: Quantifying suspicious behaviour in NFT markets». In: *arXiv preprint arXiv:2202.03866* (2022).
- [21] Wenbo Wang et al. «A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks». In: *Ieee Access* 7 (2019), pp. 22328–22370.
- [22] Yang Xiao et al. «A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks». In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 22.2 (2020), pp. 1432–1465.
- [23] Weilin Zheng et al. «XBlock-EOS: Extracting and exploring blockchain data from EOSIO». In: *Information Processing & Management* 58.3 (2021), p. 102477.