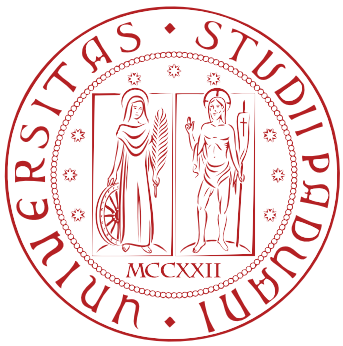
Università degli studi di Padova
Dipartimento di Matematica "Tullio Levi Civita"
Corso di laurea in Informatica



Contesti di applicabilità di blockchain

Proposta di un sistema di voto elettronico a trust limitato

Matteo Sovilla
Mat. 1124500

Relatore: Prof. Mauro Conti
Azienda ospitante: Infocamere S.C.p.A
Tutor aziendale: Dott. Enrico Notariale

19 Aprile 2018

Abstract

Il lavoro svolto durante il tirocinio presso Infocamere SCpA ha riguardato lo studio della tecnologia blockchain allo scopo di comprenderne le potenzialità in alcuni contesti quali ausilio alle normative e servizi di sicurezza del data center. Nell'ultimo anno in particolare si ha assistito ad un notevole aumento di interesse nei confronti di blockchain, e al proliferare di studi e articoli a riguardo. Le potenzialità che si intravedono sono di importanza tale da richiamare l'attenzione di esperti e aziende in tutto il mondo. Di contro, l'argomento si dimostra difficile da padroneggiare e da utilizzare in modo appropriato. L'insieme di questi fattori fa sì che sempre più aziende comincino ad investire e sperimentare su blockchain, in modo da accumulare internamente sufficiente esperienza da trovarsi pronti all'azione qualora si presentasse un'occasione adatta.

Lo stage si è diviso in due attività principali, iniziando con una prima parte di studio teorico concentrata prima sul modello di Bitcoin ed in seguito sui principali sistemi blockchain presenti al momento ovvero Ethereum e la piattaforma Hyperledger, in particolare Hyperledger Fabric. Dopo aver consolidato una discreta conoscenza di base si è passati allo studio di un possibile use case, individuato in un sistema di voto online, così da confrontarsi con l'effettiva attuabilità di quanto studiato in precedenza.

Il lavoro svolto ha confermato l'intuizione iniziale, ovvero la necessità di approfondire l'argomento e proseguire nelle sperimentazioni in modo da non trovarsi impreparati in futuro. Ignorare una tecnologia di questa portata comporterebbe, al raggiungimento di una sua sufficiente maturità, un ritardo nel mercato non sostenibile per aziende che puntano ad innovazione e crescita.

Indice

Elenco delle figure

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Blockchain

L'invenzione di Bitcoin nel 2008 ha portato alla ribalta un nuovo concetto, quello di blockchain, fondamentale per la sua realizzazione ma non limitato ad essa. Inizialmente confusa dai più con la moneta elettronica che le ha dato notorietà, blockchain si è affermata come idea a sè stante, che promette di influenzare pesantemente i paradigmi a cui siamo abituati nel campo della condivisione di informazioni, della finanza, della sicurezza informatica e molti altri. Per alcuni, si assiste alla nascita di una nuova *Internet del Valore*. Per altri possiamo parlare di *Democrazia digitale*, vista come la trasposizione informatica di concetti quali decentralizzazione, trasparenza, sicurezza e immutabilità uniti alla gestione completamente nuova della fiducia all'interno di una rete informatica.

Percezione attuale Secondo Gartner, Inc. [14], blockchain si trova al momento nel *picco delle aspettative esagerate*. L'entusiasmo è ai limiti dell'eccessivo anche in rapporto all'effettiva natura dirompente del fenomeno, tuttavia valutandone le potenzialità a lungo termine c'è la convinzione che questa tecnologia darà forma ad un nuovo concetto di economia, intesa come ecosistema commerciale peer-to-peer e many-to-many, e comportando la scomparsa del modello controllato in maniera centralizzata presente oggi. Si ritiene che questa innovazione porterà ad una rivalutazione forzata dei portfoli tecnologici, delle strutture organizzative, delle pratiche di gestione dei rischi e dei modelli di business. Allo stesso modo, si parla di rivalutazione forzata anche sulle tematiche riguardanti pratiche legali, fiscali e contabili, interazione tra società e diritti di proprietà individuale.

Le critiche Tanto entusiasmo attorno a questa idea rivoluzionaria è smorzato dai notevoli compromessi da essa richiesti, e dalla cautela necessaria nel valutare con attenzione un cambio di paradigma tanto pesante all'interno di sistemi critici, in cui i concetti e i protocolli adottati sono ormai rodati e assodati. Sempre Gartner evidenzia come blockchain, e in generale i ledger distribuiti, siano presentati come *"La risposta"* ad ogni tipo di processo, modello operativo e tecnologia preesistente. Tuttavia, molti fattori continuano ad inibirne l'adozione su larga scala, tra cui il dissenso sull'applicabilità delle diverse tipologie di blockchain, l'adeguatezza dei meccanismi di consenso, la mancanza di standard, il caotico scenario di startup e tecnologie "*core*" di efficacia e sicurezza ancora da provare. Inoltre, la mancanza

di framework robusti mette in discussione l'effettiva opportunità di investimenti eccessivamente vincolanti, specie se esistono alternative più affermate, conosciute e testate.

1.2 L'azienda

Lo stage si è svolto presso Infocamere S.C.p.A, nella sua sede di Padova. In qualità di società in-house delle Camere di Commercio italiane, Infocamere mette a disposizione degli enti camerali le proprie competenze sul fronte dell'organizzazione e della gestione sempre più efficiente dei processi interni, sviluppando servizi informatici basati su tecnologie ad elevato standard qualitativo a supporto delle numerose attività di back office delle Camere, in chiave di semplificazione. Il corretto funzionamento di queste attività all'interno del Sistema Camerale è infatti determinante per garantire la qualità dei dati e dei servizi che le Camere di Commercio offrono a imprese, Pubbliche Amministrazioni e professionisti.

Questa azione pone al centro l'obiettivo di dematerializzare e integrare fra loro i flussi informativi e si riflette in tutti i servizi che la Società offre a supporto delle attività delle Camere di Commercio. Tra questi rientrano gli strumenti di gestione del Registro delle Imprese, grazie ai quali le Camere di Commercio possono governare i flussi operativi relativi a specifiche competenze di legge, quali: ambiente e agricoltura, commercio estero e contributi alle imprese, regolazione del mercato, gestione di albi e ruoli abilitanti. A questi servizi InfoCamere affianca l'offerta di una serie di servizi amministrativi gestionali evoluti, tra cui quelli per la gestione della contabilità e del personale, per la pianificazione strategica e il controllo di gestione, per il monitoraggio e l'alimentazione della banca dati del diritto annuo dovuto dalle imprese.

1.3 Organizzazione dei contenuti

Nei prossimi capitoli verrà presentata la nascita della tecnologia blockchain, partendo dai problemi che si promette di risolvere e arrivando poi a descrivere la sua prima applicazione pratica in Bitcoin (Cap. 2); si proseguirà quindi con una definizione più generale di blockchain e con una analisi ad alto livello della tecnologia e della sua applicabilità (Cap. 3).
Si presenterà in seguito una proposta di use case, utilizzata nel contesto di stage per provare con mano quanto ipotizzato in fase di analisi (Cap. 4), fornendo poi una descrizione dello scenario attuale, con accenno agli ambiti di ricerca più promettenti e uno sguardo alle possibilità future della tecnologia (Cap. 5).
Si passerà quindi alle conclusioni, confrontando gli obiettivi prefissati con quelli effettivamente raggiunti e valutando possibili nuovi progetti in continuità con quanto svolto finora (Cap. 6).

Capitolo 2

Origini di blockchain

2.1 L'obiettivo iniziale: creare asset digitali

Il trasferimento di *asset*, intesi come beni materiali o somme di denaro, è sempre stato un processo delicato e in gran parte manuale, che richiede alle controparti coinvolte procedure di verifica manuali, non automatizzate. Ingenti sforzi si sono profusi nel creare sistemi sempre più veloci e sicuri che permettessero di manipolare tali asset per via informatica, ma i progressi in tal senso non si possono dire pienamente soddisfacenti. Anche solo considerando il semplice trasferimento di valuta tra due conti correnti bancari, infatti, è richiesto all'utente il pagamento di commissioni e il rispetto di tempi di attesa molto più lunghi di quelli a cui il progresso tecnologico ci ha abituato in altri ambiti. Questa difficoltà di digitalizzazione della gestione del possesso di beni è legata ad un problema legato proprio alla facilità di creazione e replicazione di dati informatici.

2.1.1 Il problema del double spending

Immaginiamo di dover creare un asset digitale adatto ad essere trasferito in maniera analoga a quanto viene fatto abitualmente con il denaro contante. Un primo ingenuo passaggio è quello di associare un valore ad un dato, sia esso una stringa, un numero, o un generico file, liberamente accessibile oppure in cifrato. Per loro natura però, i dati digitali sono estremamente facili da replicare: trattandosi in fondo di sequenze di 0 e 1 più o meno lunghe, generarne una copia esatta è un procedimento agevole e sostanzialmente privo di costo. Questo si scontra con il proposito di creare del valore, dal momento che si ha la necessità di rendere *scarso*, ovvero *limitato*, il bene. Prendiamo ad esempio il denaro contante: non è accettabile che la stessa cifra sia trasferita due volte dalla stessa persona a due destinatari differenti semplicemente replicando la banconota.

2.1.2 Una soluzione: Database centralizzati

La soluzione al problema del *double-spending* finora adottata è stata l'affidamento delle transazioni economiche digitali ad un ente esterno fidato (e.g. i sistemi e-banking) che garantisse le identità degli utenti e potesse verificarne l'effettiva disponibilità economica. È il database centrale che traccia la storia delle transazioni effettuate da ogni utente e prima di autorizzare la successiva verifica che non ci siano

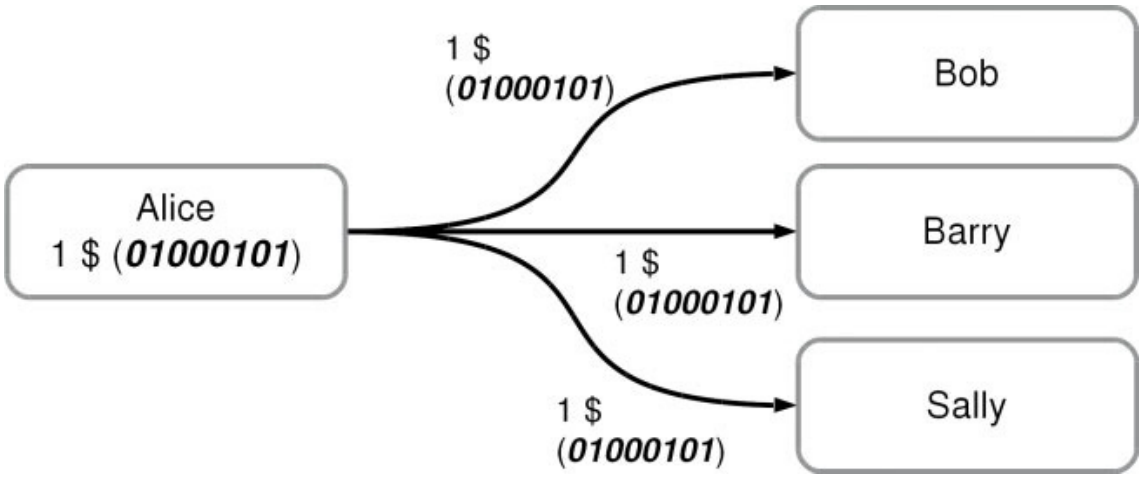


Figura 2.1: Double-spending problem. [13]

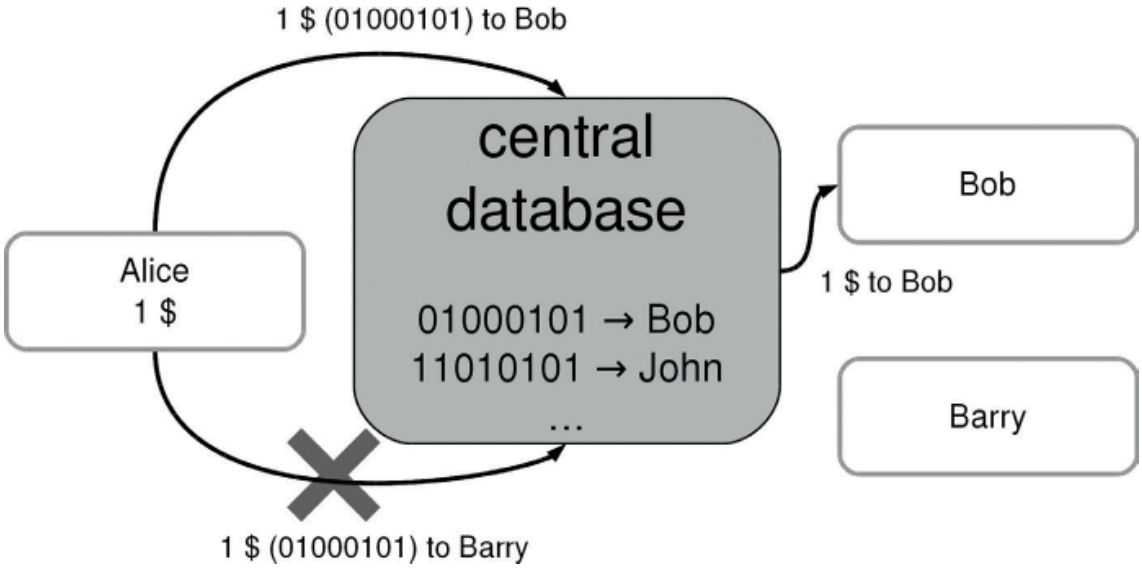


Figura 2.2: Central counterparty holding a centralized database. [13]

incongruenze.
Affidarsi ad un sistema centralizzato risolve il problema, ma porta con sé una serie di criticità.
Prima di tutto la necessità di *trust*, fiducia, nei confronti dell'intermediario centrale: esso infatti ha libero accesso ai dati degli utenti e alla loro storia transazionale, si occupa dell'affidabilità dell'intero sistema, può autorizzare o negare transazioni e bloccare interi utenti. Si tratta di un nodo cruciale per la sicurezza del sistema, un attacco riuscito nei suoi confronti comporterebbe conseguenze disastrose. Inoltre, il database rappresenta un *single point of failure*: abbattere il nodo centrale significa abbattere l'intera rete.

2.1.3 Difficoltà dei sistemi distribuiti

Un'alternativa ad un sistema gestito da un intermediario centrale è rappresentata da un sistema distribuito decentralizzato. In un sistema distribuito due o più nodi collaborano per svolgere un compito prefissato in maniera trasparente all'utente, che

si interfaccia con un'unica piattaforma logica. Emerge la necessità di coordinare i diversi attori: i nodi possono essere onesti e funzionare in modo corretto oppure difettosi, mal funzionanti o maliziosi. Anche se qualche nodo si rivelasse difettoso o la connessione venisse a mancare, un buon sistema distribuito dovrebbe essere *resiliente*, ovvero assorbire l'imprevisto e continuare a lavorare senza problemi. La complessità di progettazione di sistemi di questo tipo non è indifferente, è stata area di ricerca fertile per molti anni e lo è tuttora. Un risultato importante è il teorema CAP, che dimostra come non possano coesistere tutte le caratteristiche desiderate in uno stesso sistema.

Teorema CAP

Altrimenti noto come Teorema di Brewer, è stato proposto da Eric Brewer nel 1998 e dimostrato poi da Seth Gilbert e Nancy Lynch nel 2002 [15]. L'enunciato è il seguente:

> Un qualsiasi sistema distribuito non può garantire simultaneamente le tre seguenti proprietà:
>
> - **Coerenza (Consistency)** è la proprietà che assicura che tutti i nodi del sistema posseggono la stessa copia aggiornata dei dati;
> - **Disponibilità (Availability)** indica che il sistema è attivo, accessibile e pronto a ricevere input e a fornire output corretti in un tempo conforme alle attese;
> - **Tolleranza di partizione (Partition tolerance)** assicura che anche nel caso un gruppo di nodi crollasse per qualche motivo, il sistema continuerebbe ad operare correttamente.

Problema dei Generali Bizantini

Si tratta di un dilemma posto da Leslie Lamport (con Marshall Pease e Robert Shostak) nel 1982 [20]:

> Un gruppo di generali a capo di diverse sezioni dell'esercito bizantino sta pianificando di attaccare una città. L'unico modo a loro disposizione per comunicare è mediante messaggeri, e *hanno bisogno di concordare il momento dell'attacco per vincere*: raggiungendo un accordo l'attacco riuscirà e la città sarà conquistata, mentre non riuscire a determinare un momento univoco per agire porterebbe ad un attacco frammentato e fallimentare. Potrebbero esserci traditori tra di loro, i quali comunicherebbero messaggi discordanti per minare la riuscita dell'operazione: è quindi necessario stabilire un sistema affidabile per raggiungere il consenso sulle tempistiche di attacco.

È facile l'analogia con un sistema informatico distribuito in cui i generali siano rappresentati dai nodi e i messaggeri come un'infrastruttura di rete. Una possibile soluzione al problema dei generali bizantini in un sistema sincrono è stata proposta da Miguel Castro e Barbara Liskov e pubblicata in *Practical Byzantine Fault Tolerance* [9].
Bitcoin è la prima tecnologia ad implementarne una soluzione pratica basata su Proof-of-Work.

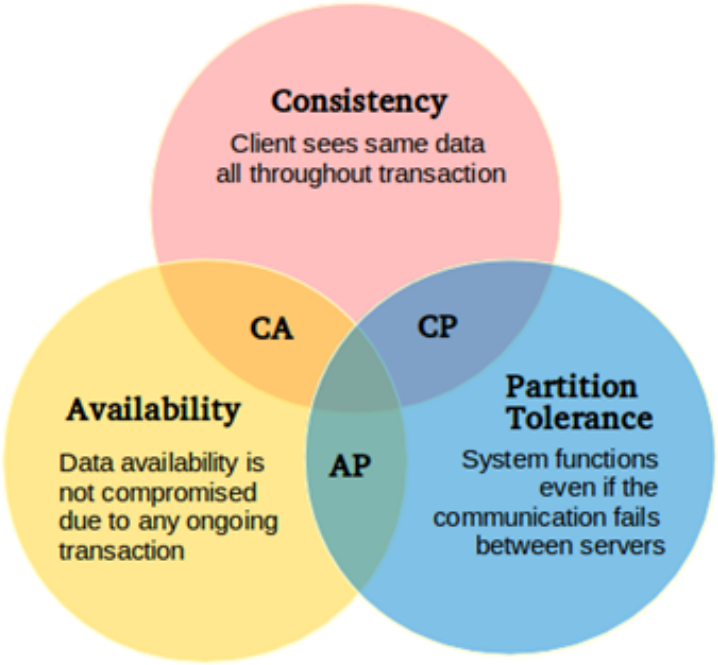


Figura 2.3: Teorema CAP. [11]

Algoritmi di consenso

La ricerca sui modi per raggiungere il consenso tra nodi di un sistema distribuito si è sviluppata molto nel periodo successivo all'introduzione di Bitcoin, pertanto sarebbe quantomeno ottimistico fornire un elenco di metodi che volesse essere esaustivo. È possibile tuttavia individuare due categorie principali di algoritmi:

- **Basati sulla fault-tolerance Bizantina**, si affidano ad un insieme di nodi che si scambiano messaggi firmati. Non richiedono impiego di risorse intensivo, sono affidabili fintanto che $N > 3F$ dove N è il numero di nodi e F è il numero di nodi malevoli;
- **Basati sul riconoscimento di un leader**, mettono i nodi in competizione per essere riconosciuti come leader e il nodo vincitore propone un accordo. Tipicamente richiedono un impiego di risorse considerevole come "gara" e la sicurezza delle loro applicazioni spesso si basa proprio sulla non convenienza di un tale investimento per un attaccante.

2.2 Bitcoin

Il 31 ottobre del 2008, uno sconosciuto (o un gruppo) sotto lo pseudonimo di Satoshi Nakamoto annuncia la pubblicazione di un suo paper [22] in cui presenta un nuovo sistema di moneta elettronica: Bitcoin. Non si tratta del primo esperimento di moneta elettronica, ma la notizia fa scalpore poiché Bitcoin viene presentato come completamente peer-to-peer, senza necessità di mediazione da parte di un intermediario fidato.
Il sistema Bitcoin si basa, in estrema sintesi, su di un registro distribuito di transazioni. Chiunque voglia usufruire del sistema per ricevere pagamenti o effettuarli

deve possedere una coppia di chiavi pubblica e privata. La chiave privata serve a firmare le nuove transazioni, mentre la chiave pubblica viene diffusa e utilizzata per verificare la firma apposta sul pagamento. L'utente è identificato all'interno del registro tramite un hash della sua chiave pubblica, ovvero il suo *indirizzo Bitcoin*. Nella proposta di transazione, l'utente deve dichiarare:

- L'indirizzo del destinatario;
- L'importo da trasferire;
- Il riferimento alla transazione tramite cui ha ottenuto il possesso dei bitcoin che sta spendendo.

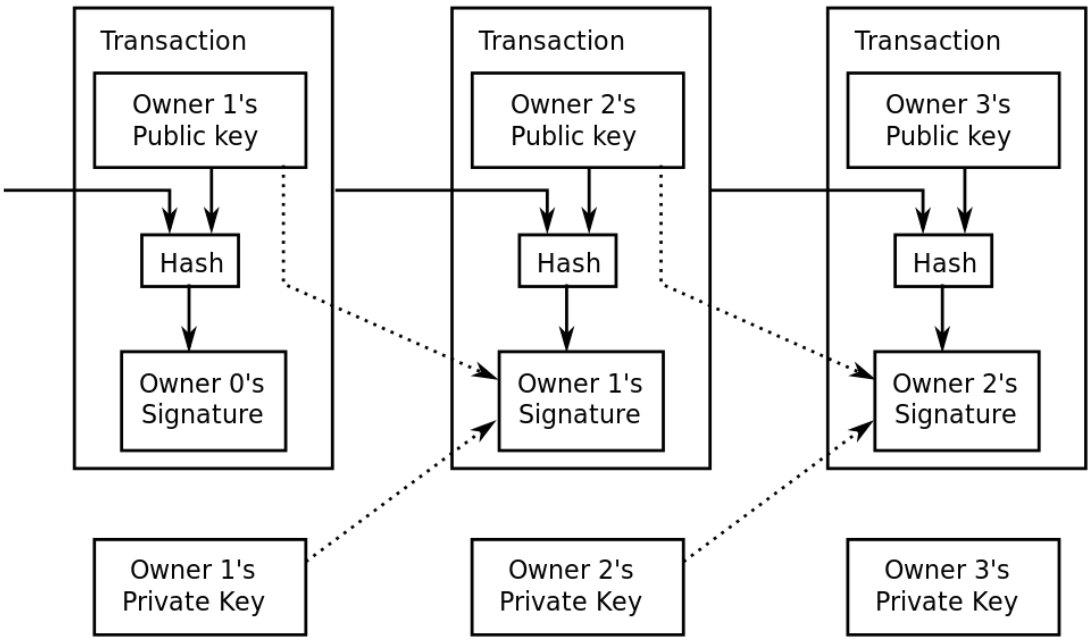


Figura 2.4: Struttura di una transazione.

Deve inoltre fornire prova della sua identità firmando la proposta tramite la sua chiave privata.

2.2.1 Evitare il double-spending: la nascita di blockchain

La crittografia asimmetrica e in particolare i concetti di firma digitale su sui si fonda il sistema descritto fino a questo punto sono ben noti da anni e largamente utilizzati molto tempo prima della nascita di Bitcoin. Non sono sufficienti però ad evitare il problema del double spending: per fare ciò è necessario assicurare l'immutabilità del registro e prevenire la creazione di transazioni non valide sfruttando la mancanza di "accordi" tra i nodi della rete. La tecnologia adottata da Bitcoin per questo scopo è nota come *blockchain*.
Il registro distribuito di Bitcoin prende la forma di una serie di "blocchi" di transazioni legati fra di loro tramite hash crittografico: ogni blocco contiene, oltre alle transazioni che lo compongono, anche l'hash del blocco precedente permettendo

quindi di individuare un ordine totale nell'insieme dei blocchi che può prendere quindi il nome di *catena*. La catena è mantenuta da ogni partecipante: *ciascun nodo ne conserva una copia locale*, che tiene aggiornata sulla base di quanto accade nella rete.

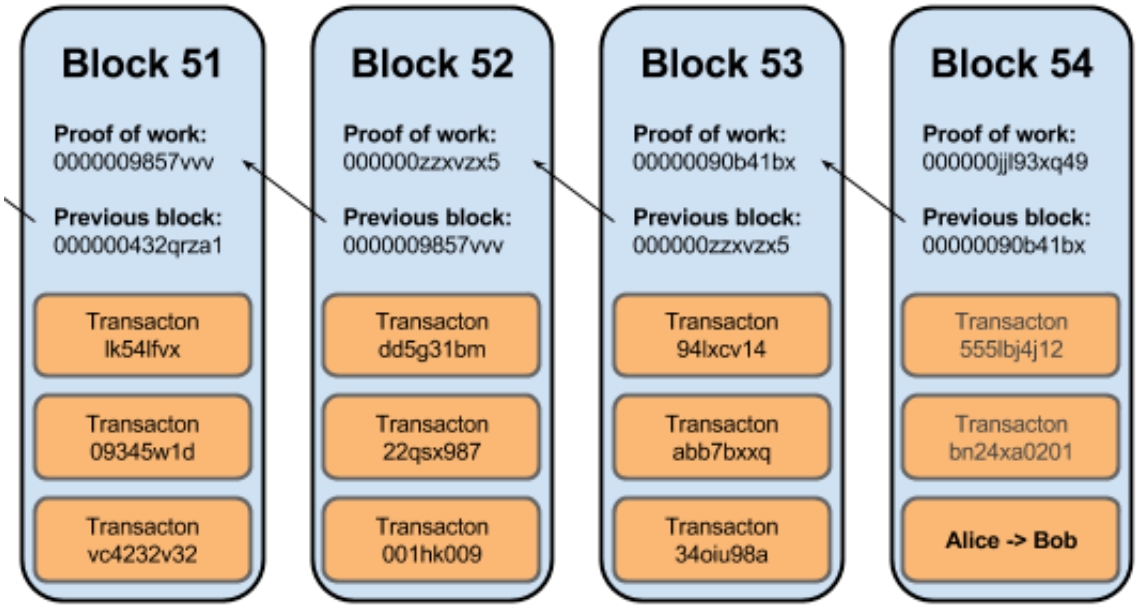


Figura 2.5: Struttura a blocchi del registro.

Consenso tramite proof-of-work

Rendere ordinato il registro permette di determinare in maniera univoca quale transazione sia avvenuta per prima, e quindi nel caso di doppia spesa di una particolare somma rifiutare le transazioni successive alla prima. Ciò non impedisce però ad un utente malevolo di creare una nuova catena che riassegni arbitrariamente certe somme (ad esempio modificando il destinatario di una transazione da lui effettuata) e presentarla come corretta al resto della rete. Bitcoin affronta questa eventualità rallentando la produzione dei blocchi attraverso la richiesta di una *proof-of-work*. Ciascun nodo che volesse validare un nuovo blocco e proporlo al resto della rete (chiamato *miner*) deve prima risolvere un problema computazionalmente molto oneroso (risolvibile solamente a forza bruta) basato su di un hash del blocco in "lavorazione" [7]. In particolare, nel blocco è inserito un numero detto *nonce* che deve essere determinato dal nodo proponente affinché l'hash del blocco stesso cominci con un determinato numero di 0 iniziali. Il numero di 0 richiesti influenza la difficoltà del problema: viene determinato algoritmicamente sul tempo medio di creazione degli ultimi blocchi e ciò fa in modo che il tempo necessario si assesti non sotto i 10 minuti. Questo *sforzo* necessario da parte dei miner fa sì che un nodo malevolo che volesse creare nuova catena alterata dovrebbe ricalcolare la soluzione a tutti i problemi matematici relativi a tutti i blocchi successivi a quello alterato. Dal momento che la rete accetta come corretta solamente la catena più lunga, tale attaccante dovrebbe validare i blocchi più velocemente del resto della rete, per poter ad un certo punto superare la lunghezza della blockchain "ufficiale" e veder riuscire il suo attacco.

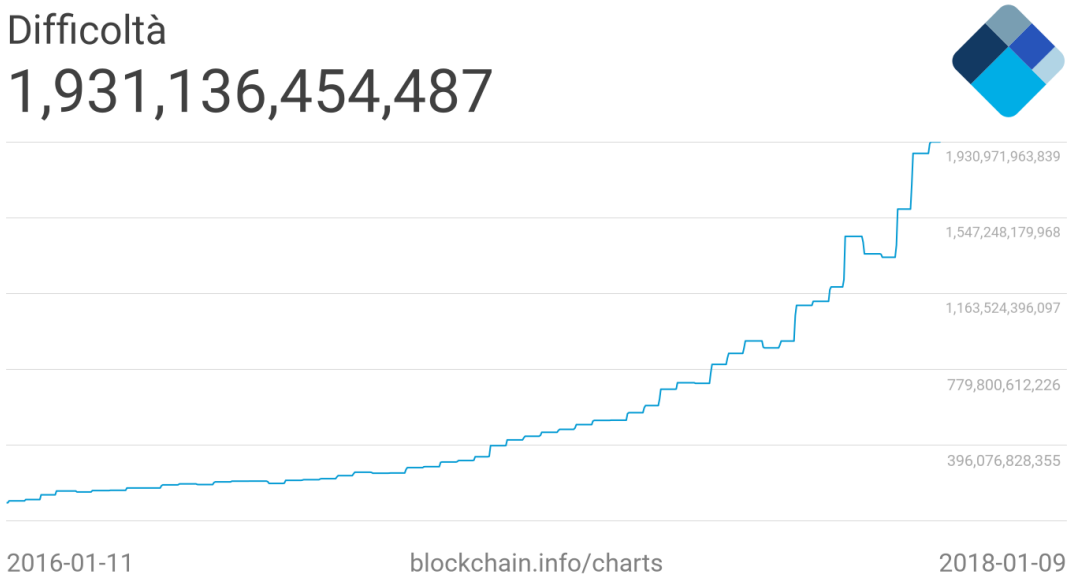


Figura 2.6: Difficoltà di creazione di un nuovo blocco.

Algoritmo in dettaglio Per il calcolo della difficoltà Bitcoin si serve di un valore obiettivo detto *Target*. Formalmente, affermare che un valore binario k deve cominciare con un determinato numero di 0 equivale a dire che $k < T$ per un target T. Il target iniziale è stato fissato a 0x00000000FFFF * 2^{208}, ed in seguito ricalcolato ogni 2016 blocchi creati. Poiché ogni valore hash è un numero di 256 bits, la probabilità che un hash sia minore di T è:

$$p(T) = \frac{T}{2^{256}}$$

richiedendo quindi un numero medio di tentativi

$$N(T) = \frac{1}{p(T)} = \frac{2^{256}}{T}$$

per trovare la soluzione. Se gli ultimi 2016 blocchi risultano avere un tempo medio di creazione t_m per un singolo blocco, possiamo stimare la velocità dei minatori come

$$V_{est} = \frac{N(T)}{t_m}.$$

Il tempo previsto per creare un blocco con difficoltà T e velocità di hash v è allora

$$t(T, v) = \frac{N(T)}{v}.$$

Il valore di *Target* deve essere regolato ad un valore T' tale che $t(T', v_{est}) = 600s = 10min$. Si ricava quindi l'equazione

$$600s = t(T', v_{est}) = \frac{N(T')}{v_{est}} = \frac{N(T')}{\frac{N(T)}{t_m}} = t_m * (\frac{T}{T'})$$

da cui

$$T' = \frac{t_m}{600}T.$$

Il guadagno dei miner

L'introduzione di un simile onere pesa tanto su di un ipotetico attaccante quanto sul resto della rete: per fornire un adeguato incentivo per il mantenimento della rete, la prima transazione di ogni blocco è *autorizzata a creare nuovi bitcoin* in favore del miner che l'ha validato. Questo è l'unico modo in cui nuovi bitcoin possono essere creati, e l'ammontare di questa ricompensa è anch'esso algoritmicamente determinato. La presenza di questa ricompensa fa in modo che sia più profittevole, da parte di un nodo con sufficiente potenza di calcolo da impensierire la stabilità della rete, investire queste risorse nel mantenimento della rete stessa svolgendo il ruolo di miner invece che in attacchi come quello descritto sopra.

Offerta anelastica e scenario futuro

È necessario un piccolo appunto sulla possibile evoluzione di questo equilibrio: la ricompensa per la validazione di un blocco è infatti destinata a ridursi con il tempo. L'algoritmo prevede infatti che questa venga dimezzata circa ogni 4 anni fino a raggiungere una quantità complessiva di bitcoin immessi che si aggira attorno ai 21 milioni. L'ultima frazione di bitcoin generata sarà creata nel 2141: a quel pun-

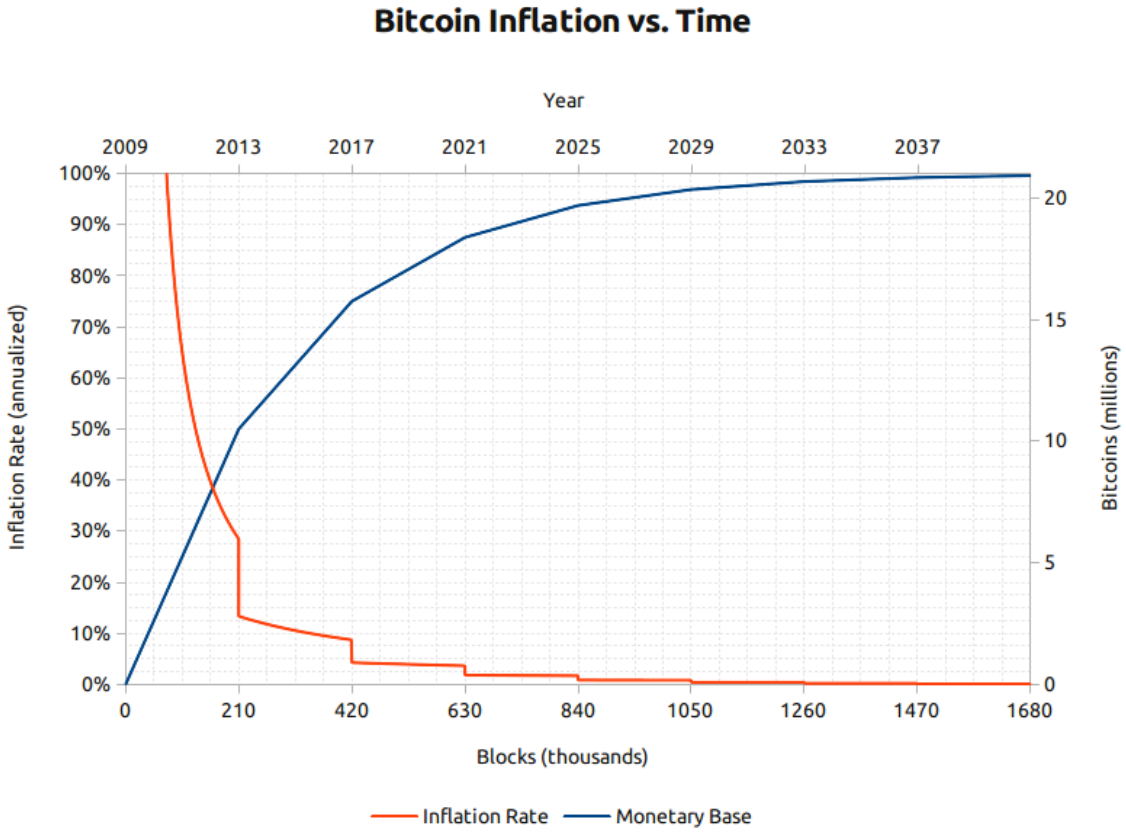


Figura 2.7: Emissione fissata di bitcoin.

to verrà meno, apparentemente, l'incentivo al mining "onesto". Nonostante questo possa sembrare uno scenario remoto per via della data ancora sufficientemente distante nel tempo, il problema è più attuale di quanto sembri per via degli enormi costi delle attrezzature per il mining. La competizione in quest'ambito si è accesa e ha dato il via ad una corsa continua per accumulare la maggior potenza di calcolo

possibile, alzando moltissimo la quantità di risorse necessarie in termini di hardware ed energia. Il momento in cui questi costi supereranno il valore della ricompensa è quindi molto più vicino della data di emissione dell'ultimo bitcoin.
A sostenere i costi affrontati dai miner quando non sarà più sufficiente la quantità di bitcoin estratta saranno delle somme donate volontariamente associate ad ogni transazione. Il protocollo permette infatti di includere ad ogni transazione una *fee*, una "tassa" pagata dal richiedente ed indirizzata al miner che registrerà la transazione sulla blockchain.
Finché l'incentivo economico sarà sufficiente, il lavoro onesto dei miner sarà sempre conveniente rispetto all'utilizzo malevolo della propria potenza di calcolo. La stabilità di questo equilibrio determinerà l'effettiva sopravvivenza del sistema Bitcoin negli anni a venire.

Capitolo 3

Potenzialità e limiti

3.1 Generalizzazione

In seguito all'esordio di blockchain assieme a Bitcoin sono state presentate numerose proposte per sviluppi ed implementazioni della tecnologia. Nel seguito di questa sezione si presenta quello che vuole essere uno schema delle caratteristiche salienti di un sistema basato su blockchain: sono riportati le principali scelte di progettazione che lo caratterizzano e alcune delle soluzioni ad oggi adottate. La ricerca è estremamente attiva a riguardo, perciò questo elenco non sarà e non vuole essere esaustivo: lo scopo è quello di chiarire a che tipologie di sistema si fa riferimento parlando genericamente di *blockchain*.

3.1.1 Definizione tecnica

Una buona definizione generica di blockchain è quella proposta da Imran Bashir in *Mastering blockchain* [6]: essenzialmente si tratta di un registro distribuito peer-to-peer, crittograficamente sicuro, append-only, immutabile (o meglio, estremamente difficile da modificare) e aggiornabile solo previo consenso da parte dei peer. Esistono ovviamente molte altre definizioni, ciascuna con enfasi diversa sui vari aspetti di blockchain, tuttavia l'estrema sintesi di quella di Bashir permette di concentrarsi sugli aspetti imprescindibili che la caratterizzano, lasciando alle scelte di progettazione successive il compito di determinarne i particolari.

3.1.2 Elementi costitutivi di una blockchain

Permessi di accesso

La prima grande suddivisione in macro categorie dei sistemi basati su blockchain ne riguarda le modalità di accesso. La blockchain può essere:

- **Pubblica** nel momento in cui il sistema è aperto al pubblico e chiunque può installarne un client, scaricare il registro e partecipare attivamente ai processi di validazione dei blocchi. Tipicamente ogni utente scarica e mantiene una copia locale del registro e tramite un sistema di consenso distribuito si raggiunge un accordo con il resto della rete sull'effettivo stato "ufficiale" dei dati. Tipicamente si affidano ad algoritmi di consenso basati su proof-of-work o proof-of-stake. Sono anche dette *permissionless ledgers*, e l'esempio più noto è Bitcoin;

- **Privata** nel caso l'accesso sia ristretto ad un limitato insieme di utenti o organizzazioni che abbiano deciso di condividere dei registri comuni. In questa accezione di blockchain acquista importanza l'autenticazione degli utenti, e si ottiene una maggiore riservatezza dei dati a costo di rinunciare alla natura completamente "*trustless*" delle blockchain pubbliche. Ciò porta a differenze sostanziali nella gestione del consenso: è possibile prescindere da prove onerose come la proof-of-work, e soprattutto viene a mancare la necessità di rendere vantaggioso a ciascun peer il mantenimento del sistema. Il grado di chiusura di questo tipo di blockchain può variare anche molto: è possibile ad esempio permettere a ciascun utente di osservare il registro ma limitarne ad un insieme ristretto la modifica. Sono anche dette *permissioned ledgers* e esempi possibili sono Ripple e i sistemi costruiti su Hyperledger.

Meccanismi di consenso

La tipologia di consenso adottata caratterizza fortemente l'intero sistema blockchain, ed è strettamente legata alla tipologia di accesso scelta.

- **Proof of work**: è il meccanismo di consenso adottato da Bitcoin. Richiede la soluzione ad un problema matematico computazionalmente impegnativo (e.g., *Hashcash*) come prova delle risorse investite per far accettare la propria proposta dalla rete;

- **Proof of stake**: è il meccanismo di consenso usato da Peercoin (e si parla di adottarlo prossimamente in Ethereum [8]). Sbilancia la probabilità di far accettare una proposta di cambiamento del registro in favore dei nodi di maggiore "importanza" all'interno della rete. In una blockchain che rappresenti una valuta, ad esempio, l'importanza consiste nella quantità di valuta posseduta. Nella variante dei consensi *deposit-based* invece si acquista importanza versando quella che è in pratica una caparra. L'idea di base è che un attaccante dovrebbe investire talmente tante risorse nell'oggetto del suo attacco da renderlo non profittevole, in quanto le ricadute sul suo investimento sarebbero troppo pesanti. Una variante è la *Delegated Proof of Stake* in cui i nodi importanti delegano la validazione di ciascuna transazione tramite votazione;

- **Proof of elapsed time**: è un meccanismo di consenso introdotto da Intel [17] allo scopo di limitare l'enorme dispendio di energie dei sistemi proof-of-work. Utilizza hardware proprietario certificato per garantire l'affidabilità di un timer, ottenendo di fatto lo stesso effetto dei PoW con irrisorio consumo di energia;

- **Reputation based**: è una variante dei sistemi proof-of-stake dal nome autoesplicativo. Il leader viene eletto sulla base della reputazione che si è costruito nel tempo all'interno della rete, che può basarsi su lavoro effettuato o su espressione degli altri nodi;

- **Federated (Byzantine) agreement**: è un sistema non-trustless, e pertanto adatto a blockchain di tipo permissioned. I nodi tengono traccia di un gruppo di peer pubblicamente riconosciuti come affidabili e propaga solo le transazioni validate dalla maggioranza dei nodi affidabili. È implementato nello Stellar Consensus Protocol [21];

- **Practical Byzantine Fault Tolerance**: è la soluzione originale al problema dei generali bizantini proposta da Castro e Liskov nel 1999 [9].

Struttura e organizzazione dei dati

La scelta è in questo caso tra:

- Tokenized blockchain;
- Tokenless blockchain.

Blockchain è nata come supporto ad un sistema di scambio di token, e le applicazioni al momento più diffuse rispecchiano questo legame nei confronti di un'unità minima di informazione trasferibile. Soprattutto nel caso di blockchain permissioned, però, è possibile prescindere dal concetto di token, condividendo informazioni analogamente a quello che si può fare mediante un database tradizionale. Hyperledger permette di implementare sistemi di questo tipo, basati su un database condiviso (lo *state*) in cui ogni modifica è registrata in una blockchain che funge da "log certificato".

Indipendenza da altre catene

Un ultima distinzione degna di nota è quella tra blockchain stand-alone e sidechain [5]. Finora, le implementazioni di sidechain riguardano esclusivamente le tokenized blockchain. Si tratta di catene che funzionano parallelamente ad una blockchain principale stand-alone e ne estendono le funzionalità, fornendo al contempo metodi che permettano di trasferire o sincronizzare token con la catena principale. Si appoggiano tipicamente su varianti di proof-of-stake in cui è necessario impegnare dei coin di una catena per generarne nell'altra. I trasferimenti possono essere unidirezionali o bidirezionali. L'interesse sulle sidechain è estremamente alto poiché queste abilitano la creazione di monete che si appoggiano a criptovalute diffuse come Bitcoin e ne vanno a colmare delle lacune. Interessante a proposito il punto di vista di Ferdinando Ametrano sull'uso di sidechain per ottenere la stabilità dei prezzi con una criptovaluta, riportata nel suo paper del 2014 "*Hayek Money: the Cryptocurrency Price Stability Solution*" [2]. Ametrano propone di sfruttare il meccanismo delle sidechain per creare una moneta virtuale stabile che si basi su delle riserve di bitcoin in maniera simile a quanto fanno le valute tradizionali con le riserve auree. In particolare, il protocollo dovrebbe prevedere l'emissione di due tipi di entità, *monete* e *azioni*, in modo che le fluttuazioni del valore di mercato vengano "assorbite" dalle azioni mantenendo stabile il potere di acquisto delle monete.

3.1.3 Teorema CAP e blockchain: il concetto di Aging

Può sembrare che le varie implementazioni di blockchain illustrate violino il teorema CAP presentato in 2.1.3. Ciò è inesatto: in particolare blockchain persegue disponibilità e tolleranza di partizione in maniera istantanea, mentre la coerenza è sacrificata e ottenuta solo attraverso un lasso di tempo. Si parla in questo caso di *coerenza eventuale*, ed è il motivo per cui il protocollo Bitcoin è stato di fatto artificialmente rallentato mediante un problema a difficoltà dinamica, che assicurasse un impegno per la proof-of-work di circa 10 minuti. Un qualsiasi sistema blockchain può dirsi coerente solo facendo riferimento a transazioni con una certa "età", che siano state accettate e validate col tempo dai vari peer.

3.2 Benefici e limitazioni

Nella gran quantità di materiale prodotto su blockchain dalla sua presentazione ad oggi si contrappongono le posizioni di chi la considera la base della "quarta rivoluzione industriale" [24], o il quinto "disruptive computing paradigm" [27], a chi ne critica fortemente l'efficacia sostenendo che sia applicabile unicamente ai sistemi di cripto valute [4].
L'analisi della questione è complicata dall'intrinseca interdisciplinarità dell'argomento. Ferdinando Ametrano parla di Bitcoin [3] come argomento all'incrocio di quattro discipline: crittografia, reti di calcolatori e trasmissione dati, teoria dei giochi e teoria economica e monetaria. Anche affrontando solamente l'aspetto tecnologico di blockchain intesa in senso più generale, è fondamentale rendersi conto della moltitudine di sfaccettature possibili: la maggior parte dei confronti tende a semplificare e ad ignorarne alcune in favore di altre, il che conduce a conclusioni completamente diverse. Un altro punto delicato riguarda le enormi differenze tra i diversi tipi di blockchain: sebbene l'affermarsi di questa tecnologia porti indubbiamente *innovazione*, non sempre si può parlare di *rivoluzione* vera e propria. Per comprenderne benefici e limitazioni in maniera equilibrata, è necessario distinguere almeno le due grandi famiglie di blockchain: *permissionless* e *permissioned*.

3.2.1 Blockchain permissioned

Rappresentano l'innovazione più mite. Il controllo operato sui partecipanti al sistema permette di ridurre molti aspetti negativi della tecnologia, ma ne limita certamente il potenziale. In particolare, si può pensare a questi sistemi come a database distribuiti con l'aggiunta di alcune desiderabili proprietà. Tutti i punti riportati di seguito sono applicabili anche ai sistemi permissionless e pertanto si possono considerare come caratteristiche "generali" di blockchain.

Vantaggi:

- **Semplificazione del paradigma attuale** - al momento è possibile ottenere gran parte dei vantaggi con altri sistemi, usare blockchain serve a semplificare e uniformare in un'unica architettura coerente il tutto;

- **Trasparenza** - ogni peer può controllare ogni transazione all'occorrenza, ideale negli scenari in cui sia necessario verificare il rispetto di norme condivise;

- **Condivisibilità** - la natura distribuita del sistema porta con se come diretta conseguenza la condivisione dei suoi contenuti, pur mantenendone pieno controllo sulle modifiche;

- **Immutabilità** - estrema difficoltà di modificare dati scritti in precendenza (impossibilità di fatto). Nel caso particolare dei sistemi permissioned, bisogna fare attenzione a non minare la sicurezza del sistema generale dando per scontata l'affidabilità degli attori;

- **Sicurezza** - tutte le transazioni in una blockchain sono crittograficamente protette e contribuiscono ad assicurare l'integrità del sistema;

- **Resilienza** - basarsi su una rete peer-to-peer permette di garantire la disponibilità del servizio anche nel caso un certo numero di peer non fosse disponibile. Le policy di consenso influenzano anche questo punto molto pesantemente: se stabilisco che una transazione debba ricevere il consenso da tutti gli altri peer, ne basta uno non funzionante e il sistema risulta non disponibile;

Svantaggi:

- **Inefficienza rispetto ai database tradizionali** - la natura ridondante e cifrata di blockchain mal si concilia con le necessità di alta velocità in lettura/scrittura;

- **Scalabilità** - la necessità di mantenere tracciata ogni modifica effettuata al registro distribuito provoca l'enorme aumento nel tempo della dimensione del database. Nel caso di sistemi trusted sarebbe possibile effettuare un *pruning* ovvero ridurre periodicamente la dimensione del database considerando affidabile la situazione in un certo momento ed eliminando la storia delle transazioni relative ai dati precedenti. Questo procedimento andrebbe però a minare la condizione di sicurezza e tracciabilità totale dei sistemi blockchain, rendendoli violabili;

- **Complessità e carenza di know-how** - allestire un sistema blockchain richiede competenze in reti e sistemi distribuiti, gestione dei database, crittografia a livelli sufficienti da poter garantirne la sicurezza di insieme. L'argomento è naturalmente complesso e più delicato rispetto ad un'architettura centralizzata, il che rende difficoltoso trovare personale sufficientemente esperto o formarlo allo scopo;

- **Tecnologia relativamente immatura** - anche i framework più stabili presenti al momento della stesura di questo documento (e.g., Hyperledger presentato in sezione 4.1.1) presentano variazioni più che considerevoli nell'arco di poche settimane. Uno scenario di questo tipo è estremamente ostile per un'applicazione in ambito enterprise della tecnologia, che dovrà attendere che le soluzioni attuali raggiungano una sufficiente stabilità prima di basare su di esse un'infrastruttura. Inoltre, una tecnologia tanto giovane non può essere di provata e testata affidabilità quanto i ben più rodati sistemi centralizzati: è necessario un certo periodo di sperimentazione prima che si affermi come effettiva concorrente.

3.2.2 Blockchain pubbliche

Rappresentano l'aspetto rivoluzionario di blockchain. L'idea originaria di Nakamoto ha permesso per la prima volta di generare un'entità digitale *scarsa*, ovvero non arbitrariamente replicabile, senza la necessità della supervisione di un intermediario centrale. Inoltre, il sistema proposto da Nakamoto deve la sua stabilità all'impossibilità di fatto di alterare il registro condiviso: questo lo rende ideale nel contesto delle pratiche di notariato, che possono affidarsi ad una rete per la validazione prescindendo da un certificatore apposito. Una naturale applicazione della tecnologia

si può individuare nella gestione delle proprietà (che possono diventare *smart properties*) o nel timestamping di documenti. In questa tipologia si trovano i vantaggi più dirompenti, assieme ai limiti più vincolanti.

Vantaggi:

- **No single point of failure** - la replicazione in ogni nodo e il sistema di consenso totalmente distribuito permettono il corretto funzionamento della rete anche nel caso in cui uno o più nodi non fossero raggiungibili, o presentassero comportamenti anomali;

- **Non censurabilità o revocabilità del servizio** - il sistema è indipendente dal controllo di un intermediario centrale, pertanto non esiste un partecipante alla rete che abbia la possibilità di negare arbitrariamente l'accesso al servizio ad un altro elemento.

- **Velocità di validazione** - prescindere da intermediari può portare ad un'accorciamento dei tempi necessari allo svolgimento di operazioni come quelle finanziarie. Paragonata ad altri sistemi informatici un'infrastruttura di questo tipo è sicuramente più lenta, ma se si considerano i tempi attualmente necessari a seguire le procedure legali in caso sia necessario validare e approvare documenti si nota come blockchain permetta di effettuare operazioni verificabili in maniera estremamente veloce.

- **Risparmio sulle transazioni** - analogamente a quanto detto per la velocità di validazione, eliminare la necessità di controllo da parte di terzi permette una riduzione considerevole dei costi per ogni procedura;

Svantaggi:

- **Scalabilità** - in questo caso la situazione è estremamente più drastica rispetto a quella dei sistemi permissioned. Non è infatti possibile stabilire un momento in cui si considera il sistema affidabile, e non esiste nemmeno un ente o un supervisore che possa essere investito di tale incarico. L'immagine riporta la situazione della blockchain di Bitcoin aggiornata al 05/11/2017, e lascia intuire come questo aspetto rischi facilmente di andare fuori controllo e risultare estremamente limitante per il sistema.

- **Adattabilità** - al momento la sola implementazione largamente diffusa della tecnologia la si trova in Bitcoin. Sebbene le sperimentazioni a riguardo siano innumerevoli, la necessità di fornire una ricompensa appetibile ha finora vincolato il successo delle proposte all'uso di tokenized blockchain. Nonostante queste si adattino straordinariamente bene all'ambito economico o alle operazioni di notariato, finora una flessibilità come quella della piattaforma Hyperledger rimane prerogativa dei sistemi non trustless;

- **Regolamentazione** - la rapida ascesa di blockchain non è seguita altrettanto rapidamente da una regolamentazione efficace dal punto di vista normativo. Tale regolamentazione si presenta come particolarmente problematica per via della natura libera, indipendente e incensurabile dei sistemi in questione;

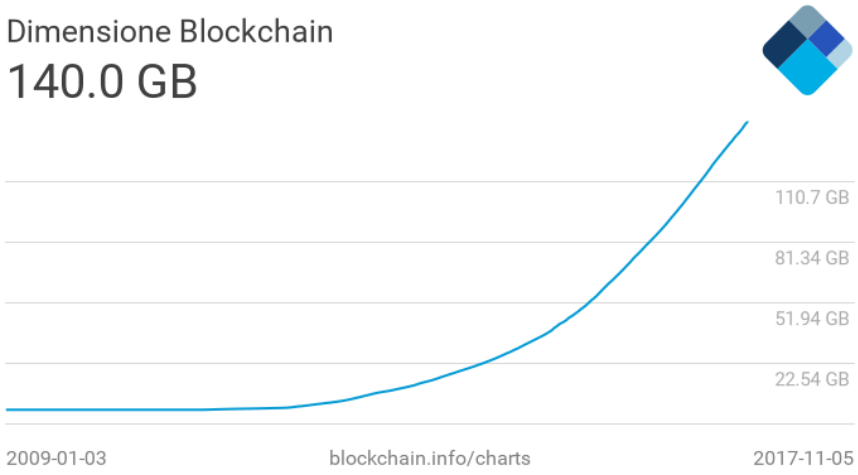


Figura 3.1: Dimensione della blockchain di Bitcoin.

- **Privacy** - diffondere copie dei registri attraverso la rete pone problemi non indifferenti per la riservatezza delle informazioni, su diversi livelli. Un primo aspetto, proprio di Bitcoin, è la pseudonimità del protocollo. Gli indirizzi con cui si opera nella rete sono infatti pubblici, ed è possibile risalire alla completa storia delle transazioni di un indirizzo. Esistono strategie più o meno efficaci per offuscare questo genere di informazioni, come sfruttare più indirizzi generati algoritmicamente invece di utilizzarne solamente uno o usare servizi come CoinJoin che permettono di accorpare transazioni di più utenti in maniera da rendere difficilmente tracciabile il flusso singolo di pagamento. Tuttavia, nel momento in cui si riuscisse ad associare l'indirizzo all'ente a cui è legato (impresa tutt'altro che proibitiva, dal momento che l'ente stesso deve diffondere l'indirizzo per utilizzarlo) la riservatezza delle transazioni sarebbe completamente compromessa. Un altro punto delicato riguarda la presenza di dati on-chain: anche se cifrati, questi sono infatti bloccati dall'immutabilità della blockchain. Ne consegue direttamente che un attacco a forza bruta su questi dati sarebbe facilitato di molto dall'impossibilità di modificare la chiave di cifratura dopo un certo periodo di tempo, vincolando la privacy su tali dati ad una inevitabile "data di scadenza";

- **Impossibilità di interventi correttivi** - è un aspetto fortemente legato alla regolamentazione dei sistemi blockchain. L'immutabilità del registro, così come la completa assenza di governance da parte di un ente verificatore, comporta il fatto che una volta immessi dati o stabiliti dei contratti questi siano completamente fuori dal controllo di chiunque. È celebre l'incidente avvenuto con "The DAO" sulla piattaforma Ethereum [26], in cui uno smart contract mal formulato ha portato ad un attacco per un valore di circa 50 milioni di dollari. È estremamente difficile proteggere il sistema da evenienze di questo tipo senza rompere le fondamenta stesse su cui si basa: la protezione dell'utente in tali scenari è responsabilità esclusiva dell'utente stesso. Un esempio analogo lo si trova in Bitcoin, dove nel caso di perdita della chiave privata associata al proprio portafoglio si perde irrevocabilmente l'accesso ad esso e, dualmente, un malintenzionato che entrasse in possesso di un portafoglio ne

potrebbe disporre a sua assoluta discrezione;

- **Rischio di Lock-in** - la resistenza alle modifiche dei sistemi basati su blockchain comporta delle situazioni indesiderabili per la sua adozione in produzione a livello aziendale. Un esempio è l'elevata dipendenza dalla specifica tecnologia adottata: la migrazione dei dati tra diverse blockchain è molto difficoltosa e, ricordando che ciò che garantisce la correttezza dei dati è la loro completa tracciabilità, interrompere la catena migrando da un sistema all'altro avrebbe gli stessi effetti descritti parlando del *pruning* (sezione 3.2.1) rendendo violabile il sistema. Una soluzione possibile sarebbe permettere alla catena in cui si migra di "puntare" alla catena precedente, tuttavia ciò frammenterebbe le garanzie di affidabilità del sistema e un fallimento di un singolo frammento di catena la comprometterebbe nella sua interezza;

- **Protezione dei wallet** - i problemi di scalabilità a cui si fa riferimento precedentemente comportano che l'utente del sistema si carichi di un onere considerevole in termini di memoria e risorse computazionali. Una soluzione spesso adottata è quella di affidarsi a wallet esterni: si tratta di nodi completi, gestiti da un intermediario, che espongono le funzionalità di base agli utenti esterni. Questo si rivela un enorme rischio per la sicurezza in quanto ogni client deve necessariamente riporre un forte trust nei confronti del wallet, rendendo spesso completamente superfluo l'impiego di un sistema blockchain. Inoltre, nell'analizzare la sicurezza generale del sistema bisogna considerare che il punto più fragile potrebbe essere proprio questo intermediario. È necessario perciò disincentivare quanto più possibile tale pratica, preoccupandosi di fornire agli utenti informazioni chiare a riguardo e dotandoli di un sistema non eccessivamente oneroso da sostenere;

- **Sybil attack** - un possibile attacco ad un sistema blockchain vede un eventuale attaccante tentare di saturare il network con nodi malevoli, in modo che sia altamente probabile che un utente si connetta solo a peer compromessi. Questa situazione può essere sfruttata in diversi modi, tra cui i seguenti:

  - L'attaccante può bloccare la propagazione delle informazioni da parte del resto della rete, isolando i nodi che dipendono da quelli compromessi;
  - L'attaccante può inoltrare solo blocchi da lui creati, creando un fork artificiale della blockchain non verificabile da parte dei nodi isolati e aprendo alla possibilità di double-spending;
  - Anche senza passare per il punto illustrato al passo precedente, se il client fa affidamento su transazioni senza richiedere più livelli di "profondità" del blocco per ritenerle confermate è vulnerabile a double-spending;
  - Sistemi di anonimizzazione a bassa latenza come quelli utilizzati tipicamente dai client Bitcoin (e.g. Tor) possono essere rotti facilmente con dei *timing attack* qualora l'attaccante avesse un controllo sulla rete come quello descritto;

- **Majority attack** - qualora un attaccante avesse il controllo della maggior parte del "potere di consenso" nella rete (potenza di calcolo nel caso di proof-of-work, valuta nel caso di proof-of-stake, etc.) potrebbe effettuare double

spending creando un fork della blockchain. In seguito potrebbe far crescere la catena compromessa a velocità maggiore di quella ufficiale fino a renderla la catena più lunga, e quindi quella accettata dalla rete;

- **Flood attack** - un attaccante potrebbe inviare ripetutamente transazioni a se stesso, saturando la capienza massima del blocco e impedendo alle altre transazioni di essere elaborate. Bitcoin contrasta attacchi di questo tipo limitando le transazioni gratuite per blocco a 50KB, per cui tale attaccante esaurito lo spazio gratuito dovrebbe pagare una commissione che renderebbe l'attacco costoso, tuttavia in un sistema generico che volesse essere completamente gratuito questa potrebbe essere una vulnerabilità presente;

- **Timejacking attack** [10] - questo tipo di vulnerabilità è peculiare di Bitcoin e dipende da alcune sue caratteristiche specifiche, tuttavia è citata per far comprendere quanto delicati siano gli algoritmi sottostanti ai sistemi blockchain. Ogni nodo del sistema mantiene un contatore interno che rappresenta il *tempo di rete*, necessario per determinare fattori come la validità dei blocchi o il tempo medio di validazione necessario al calcolo della "difficoltà" del blocco successivo. Un attaccante potrebbe velocizzare o rallentare questo contatore attraverso ripetute connessioni al nodo comunicando timestamp alterati. Grazie alla discrepanza su questo contatore e al fatto che Bitcoin scarta automaticamente blocchi con timestamp che diverge troppo da quello interno, è possibile provocare un fork della catena e aprire a possibilità di double spending, come spiegato in dettaglio nell'articolo in nota.

Capitolo 4

Proposta di use case

Alla luce di quanto scritto finora, una possibile applicazione della tecnologia si può individuare nell'e-voting. Nei sistemi di voto attualmente in uso, la correttezza del voto e l'anonimato del votante sono totalmente affidati al controllo di un ente o di un sistema centrale in cui si ha fiducia come può essere lo stato o l'organo che indice la votazione. Questo vincola gli eleggibili e gli elettori ad una mancanza di trasparenza finora ritenuta inevitabile, e il sistema elettorale a dover investire risorse considerevoli nel gestire la votazione a partire da quando viene indetta fino al termine degli scrutini. L'avvento della tecnologia blockchain permette un cambio di paradigma in favore di sistemi decentralizzati e trasparenti in cui non sia necessario riporre fiducia nell'operato di alcuno degli agenti coinvolti. Si propone quindi un modello che permetta di applicare queste caratteristiche desiderabili ad una votazione elettronica.

4.1 Tecnologie e algoritmi utilizzati

4.1.1 Hyperledger Fabric v.1.0

Hyperledger è un progetto collaborativo della Linux Foundation che mira a creare un framework open source per lo sviluppo di sistemi blockchain in ambito aziendale. Fabric è uno dei sottoprogetti che fanno parte di Hyperledger, in particolare rappresenta il principale contributo di IBM alla causa. Nella visione di Hyperledger Fabric un sistema blockchain aziendale deve essere basato su di un'architettura modulare in cui i diversi elementi, come algoritmi di consenso, sistema di verifica delle identità, protocolli di cifratura o tipo di database ausiliari, siano intercambiabili e sostituibili liberamente. Permette anche lo sviluppo di smart contract, qui chiamati chaincode, attraverso l'uso di un qualsiasi linguaggio di programmazione: caratteristica che lo rende estremamente più flessibile del limitato set di istruzioni previsto da Bitcoin o dal linguaggio dedicato sviluppato da Ethereum. Per fare ciò l'esecuzione dei chaincode è isolata in un container dedicato, creato attraverso Docker, contenente un sistema operativo sicuro, il linguaggio del chaincode e gli SDK che permettono di interfacciarsi con il sistema. Fabric è un sistema permissioned, tutti i partecipanti sono tenuti ad autenticarsi attraverso un servizio dedicato (anche questo intercambiabile) per avere accesso alla rete.

Componenti di Fabric

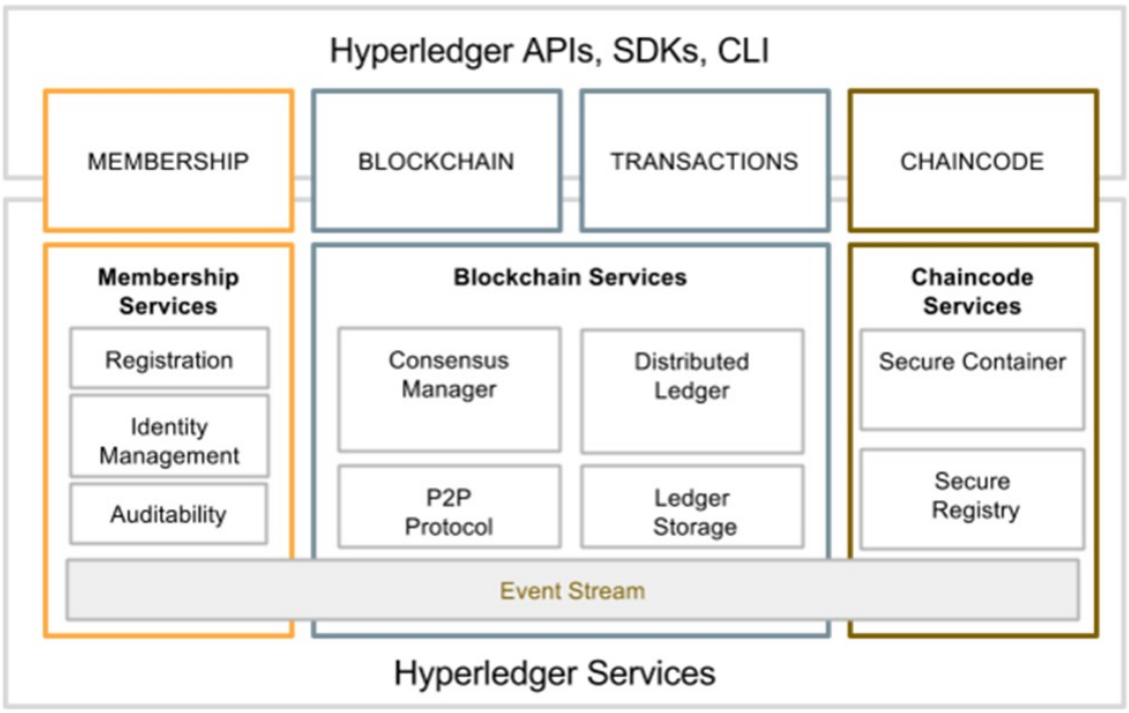


Figura 4.1: L'architettura di hyperledger come descritta nel whitepaper.

- **Client**: sono gli enti partecipanti alla rete che invocano un chaincode o propongono una transazione. Rappresentano gli utenti finali, non mantengono una copia della blockchain ma devono connettersi con un peer per interagire con il sistema;
- **Peer**: sono gli enti che effettuano le transazioni e mantengono il database condiviso e la blockchain. I peer sono coordinati dall'orderer secondo delle policy specificate a priori;
- **Orderer**: è l'ente (eventualmente distribuito) che sovrintende alla comunicazione tra i nodi della rete. Fornisce garanzie di consegna dei messaggi immessi nella rete, tra cui le proposte di transazione da parte dei peer. È il responsabile del consenso all'interno del sistema distribuito;
- **Membership services**: sono l'astrazione di tutti i meccanismi crittografici e i protocolli che lavorano alla validazione dei certificati e al riconoscimento degli utenti;
- **Organizzazioni**: rappresentano ciascuna entità distinta che possiede un certificato univoco per la rete. I nodi come i peer o i client devono essere legati ad un'organizzazione per poter essere riconosciuti e autenticati;
- **Channel**: è l'overlay della blockchain privata di Hyperledger. Ciascun canale ha un registro specifico, condiviso tra i peer registrati al canale, e ciascun ente coinvolto nella transazione deve essere autenticato ad uno specifico channel affinché questa abbia luogo;

- **State**: abbreviazione per "State Database", è il database in cui è salvato lo stato attuale del sistema per effettuare query sul registro in maniera efficiente. È modellato come un database chiave/valore con versionamento. Può essere completamente ricostruito dalla storia delle transazioni salvata in blockchain, il che ne garantisce il controllo sull'affidabilità;

- **Chaincode**: è il nome dato ai programmi salvati nella blockchain di Hyperledger. Sono invocati dalle transazioni, e possono inizializzare componenti nello state o modificarli. La loro esecuzione avviene in un container Docker isolato per garantirne la riservatezza. Incapsula la componente di business logic del sistema, ha corrispondenza diretta con quelli che in altri sistemi basati su blockchain vengono chiamati *smart contract*;

- **Transazioni**: sono la rappresentazione di ogni azione effettuata sul registro. Possono essere *deploy transactions* che creano nuovo chaincode e lo "installano" in un canale oppure *invoke transactions* che invocano una funzione presente in un chaincode installato per effettuare letture o modifiche al ledger. Ciascuna transazione deve essere approvata e gestita dall'orderer, e viene registrata nella blockchain per la futura tracciabilità.

4.1.2 Hyperledger Composer

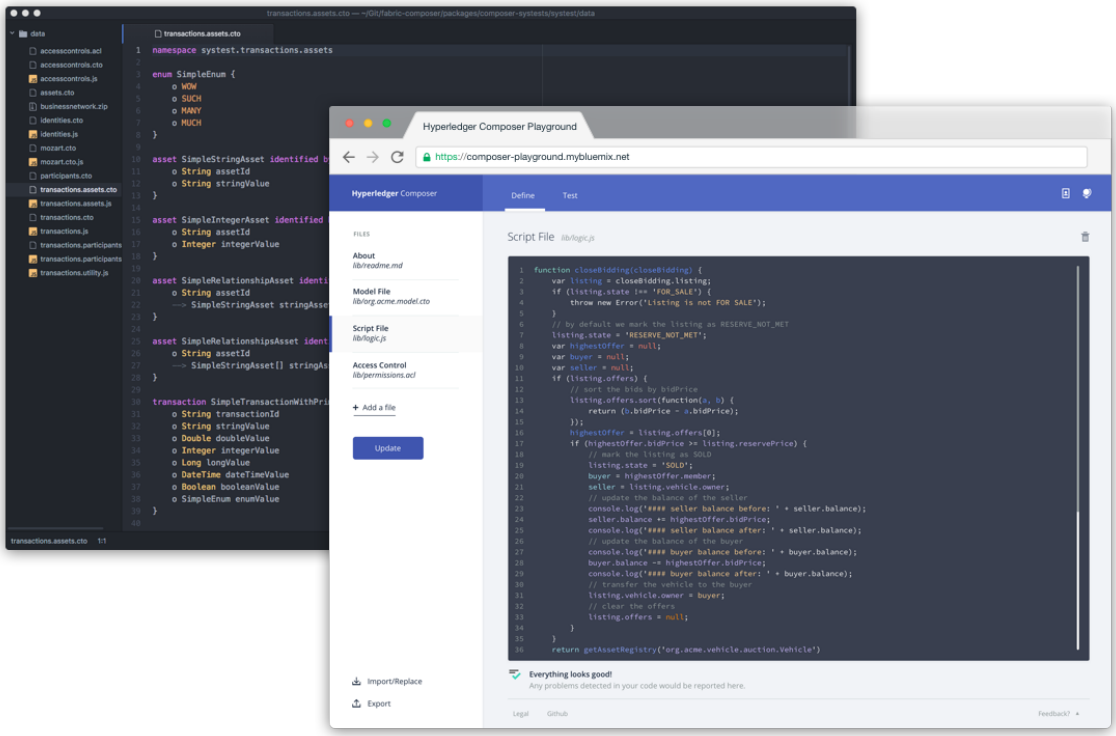


Figura 4.2: Schermate di Hyperledger Composer Playground.

Hyperledger Composer è una collezione di strumenti che facilitano lo sviluppo di reti blockchain aziendali, favorendo la collaborazione di differenti gruppi specializzati per la creazione della rete e lo sviluppo delle applicazioni. Fornisce un'astrazione

orientata ai processi aziendali, così come applicazioni di esempio e tool di test. Permette di:

- modellare e condividere i componenti fondamentali di una business network ovvero:
  - asset,
  - partecipanti,
  - logica delle transazioni,
  - controllo degli accessi;
- Generare API REST e JavaScript associate alla rete modellata che possono essere usate per interagire con le applicazioni, integrare sistemi preesistenti o analizzare la rete blockchain;
- Sviluppare e testare attraverso l'applicazione web Composer Playground senza dover installare nulla, potendo effettuare il deployment su di un sistema blockchain in seguito.

4.1.3 Ring signature

Una ring signature, o firma ad anello, è un tipo di firma digitale legata ad un gruppo di utenti ciascuno in possesso di una chiave. Questo tipo di firma permette di verificare che l'autore appartiene a quel dato gruppo di utenti rendendo però computazionalmente infattibile determinare quale specifico utente esso sia. Riporto di seguito (tradotta) una possibile definizione formale [28]:

> Si supponga che un gruppo di entità possieda le coppie di chiavi pubbliche/private $(P_1, S_1), (P_2, S_2), ..., (P_n, S_n)$. Il soggetto i può apporre una ring signature σ sul messaggio m avendo in input $(m, S_i, P_1, ..., P_n)$. Chiunque può verificare la validità della firma dati σ, m e le chiavi pubbliche coinvolte $P_1, ..., P_n$.

Figura 4.3: Ring Signature.

Una *Linkable* Ring Signature (LRS) permette inoltre di determinare se due ring signature sono state computate dallo stesso membro del gruppo, pur senza poter risalire alla sua identità.
La maggior parte degli algoritmi per la costruzione di Ring Signature ha complessità $O(n)$, anche se ne esistono di più efficienti come quello proposto da Tsang e Wei in *Short Linkable Ring Signatures for E-voting, E-cash and Attestation* [23], basato su un lavoro di Dodis del 2004 [12].

4.2 Architettura

Il sistema si articola in due blockchain separate, la blockchain di firma e la blockchain di voto (da ora rispettivamente Signature Chain, o SC, e Vote Chain, o VC). Le due chain sono isolate, per garantire la non collegabilità del voto al votante in fase di scrutinio. Le due chain hanno scopi diversi: SC assicura che il voto avvenga in maniera controllata e abilita al voto il client, inoltre contiene le informazioni per dividere in raggruppamenti i votanti similmente a quanto avviene con le sezioni elettorali; VC raccoglie i voti e li registra per effettuare poi il conteggio, ma deve garantire l'anonimato del votante.

4.2.1 Preparazione

Viene indetta una votazione. Si prevede che l'architettura sia già predisposta, in particolare devono essere noti ed affidabili, completi di chiavi pubbliche:

- L'elenco dei votanti;
- L'elenco dei peer;
- L'elenco degli indirizzi dei candidati per la Vote Chain;
- L'elenco dei programmi client verificati.

Inizializzazione della Signature Chain

La SC viene predisposta con il chaincode che permette al client di interrogare la chain per conoscere le chiavi pubbliche dei votanti inseriti nello stesso raggruppamento, registrando contemporaneamente la propria firma. I dati sui raggruppamenti dei votanti sono inseriti nella SC. Questa dovrà essere accessibile solamente ai peer deputati al controllo della votazione, a causa della riservatezza delle informazioni sui raggruppamenti.

Inizializzazione della Vote Chain

La VC contiene inizialmente delle transazioni che registrano l'associazione di ogni indirizzo numerico ad un nome intelligibile del candidato corrispondente, i saldi dei voti dei candidati inizializzati a 0 e il chaincode necessario al client per incrementare di 1 il saldo del candidato scelto. Un altro chaincode utile è quello che permette ai peer di ricevere il conteggio finale e quindi l'esito della votazione, così come il chaincode che permette ad un servizio web di interrogare la blockchain e rendere pubblici i dati in essa contenuti per permettere al votante la verifica del voto espresso.

4.2.2 Workflow di una votazione

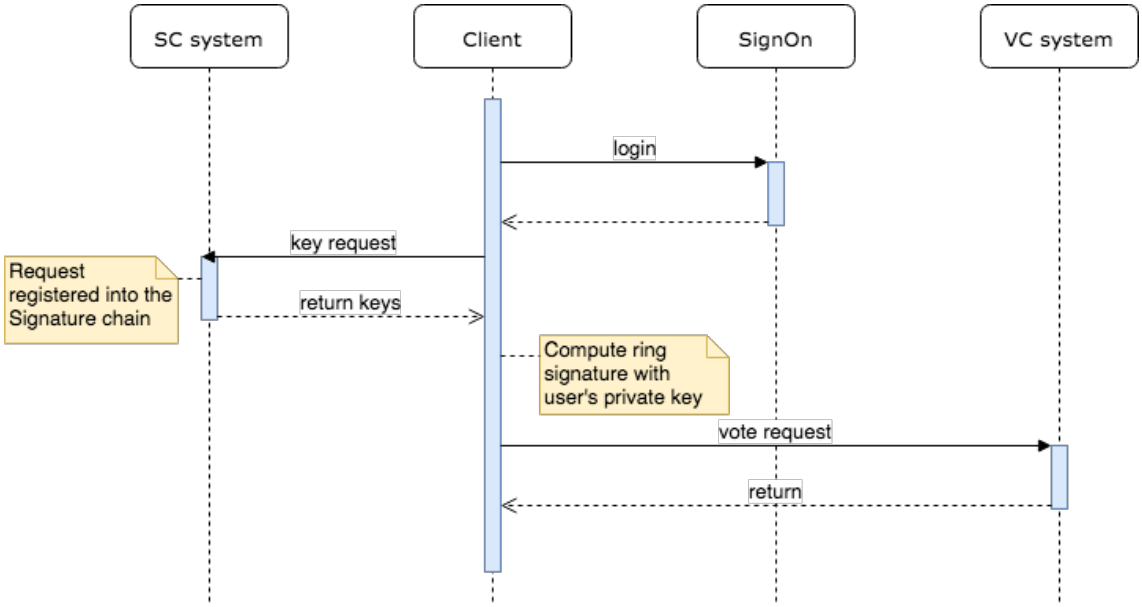
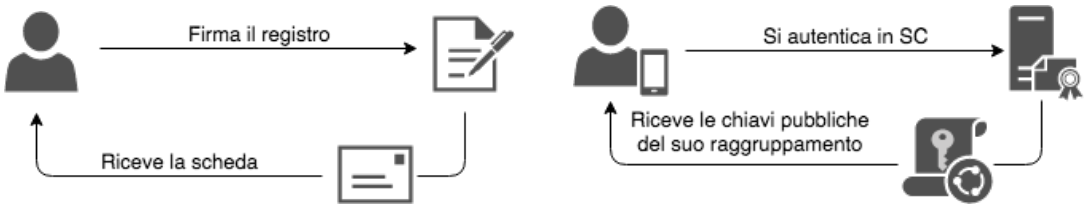


Figura 4.4: Workflow della votazione.

Il diagramma in figura 4.4 illustra il workflow tipico di una votazione.

Signature Chain: Firma del registro votanti

Il client autentica l'utente attraverso un sign-on affidabile. I controlli di accesso possono essere rinforzati o meno da altri passaggi affidati a sistemi di intelligenza artificiale o al controllo di un operatore. A utente autenticato, il client invoca il chaincode di query su SC ed ottiene l'elenco delle chiavi pubbliche del suo raggruppamento. Questa richiesta viene registrata in blockchain, per assicurarsi che lo stesso utente non possa ripetere la procedura di voto due volte.



(a) Firma tradizionale (b) Firma di SC

Figura 4.5: Firma del registro votanti.

Vote Chain: In cabina elettorale

Il client si trova ora in possesso delle chiavi pubbliche della sua sezione. In locale permette al votante di esprimere la propria preferenza di voto e richiede la transazione corrispondente nella VC firmandola con la ring signature del proprio raggruppamento. La votazione è ora conclusa.

(a) Voto tradizionale (b) Voto in VC

Figura 4.6: Votazione.

Scrutinio e verifica

Le operazioni di scrutinio e verifica possono ora essere completamente automatizzate, facendo riferimento ad una base di dati sicura e virtualmente inalterabile come la blockchain.

4.3 Analisi

In questa sezione si analizzano le scelte architetturali fatte argomentandole, concludendo con delle possibilità di miglioramento che si potranno presentare con l'avanzamento dello scenario tecnologico attuale.

4.3.1 Qualità del voto

Il voto è definito dall'art. 48 [18] della Costituzione Italiana come "personale ed eguale, libero e segreto".

Personalità

La personalità del voto, intesa come la necessità di esercitarlo di persona e non tramite terzi, è delegata in questa proposta al servizio di sign-on. Al momento attuale, è possibile fare affidamento su diversi sistemi di autenticazione: per il corretto funzionamento del sistema è previsto che ogni utente abbia una coppia di chiavi pubblica e privata distribuita precedentemente, sotto verifica di un operatore. Ad esempio, è possibile distribuire queste chiavi contestualmente alla consegna della tessera elettorale. La natura certificata di queste chiavi le rende ideali come metodo di autenticazione ma è possibile aggiungere ulteriori controlli come una verifica tramite dati biometrici.

Eguaglianza

L'eguaglianza del voto consiste nell'avere ogni voto lo stesso valore di tutti gli altri. Si articola nell'impedire, in particolare, il voto plurimo e il voto multiplo. Nel sistema proposto, il voto plurimo è scongiurato dal codice del chaincode della Vote Chain, il quale permette solo incrementi unitari al saldo dei candidati. Uno scenario di voto multiplo è invece controllato dalla Signature Chain e dalla struttura del client: è infatti indispensabile che la procedura di voto sia strettamente successiva alla procedura di firma in SC, e non invocabile in maniera indipendente. In tal modo è possibile garantire che una stessa persona non reiteri l'esecuzione del chaincode di voto. Pur ammettendo il caso in cui un attaccante riesca a violare il client, questo potrà reiterare voti firmati dalla stessa ring signature: un controllo automatico può

facilmente accorgersi della non coerenza del numero di votanti nel raggruppamento e il numero di voti espressi dal raggruppamento, invalidando di fatto le transazioni ma mantenendo confinato l'evento disastroso: si possono applicare le procedure invocate attualmente qualora venissero riscontrate irregolarità che compromettano la validità dei voti di una sezione elettorale.

Libertà

La libertà del voto viene garantita dal negare la possibilità di voto qualora il votante fosse stato costretto con mezzi illeciti a esprimere una certa preferenza. Nel sistema di voto attuale è garantita dal controllo degli operatori di seggio. Nei sistemi di voto remoto l'argomento risulta spinoso: è infatti estremamente difficile stabilire una situazione di particolare pressione dell'elettore, o l'interferenza di esterni. Nel caso di voto elettronico, forzare il client ufficiale a poter essere installato solo su dispositivi muniti di telecamera frontale potrebbe risolvere il problema. Il controllo può essere svolto da appositi addetti eventualmente aiutati da un'intelligenza artificiale simile a quella utilizzata da Unilever [25] per i colloqui di lavoro. Questo non scongiura ogni possibile manipolazione, ma va evidenziato che il controllo sul sistema proposto non lo rende meno sicuro del sistema già in essere: permette anzi un livello di garanzia estremamente più alto di quello dei sistemi di voto per corrispondenza, già accettati in Italia in caso di votanti dall'estero e adottato in maniera diffusa in Svizzera.

Segretezza

La segretezza del voto nel sistema proposto ha come fulcro la completa separazione delle due blockchain. Affidando al client il compito di mantenere la continuità dell'operazione di voto, l'accoppiamento tra votante e voto espresso non può essere ricostruito con certezza in alcun modo. L'unica informazione che può trapelare riguarda il momento in cui viene registrata la votazione nelle due chain, tuttavia questa informazione è molto meno affidabile di quanto possa sembrare a causa della consistenza eventuale della blockchain. Sebbene qualche informazione trapeli, l'elevato numero di transazioni contemporanee previsto e l'incertezza nel determinare l'esatto momento di voto rende di fatto inservibili queste informazioni.

4.3.2 Necessità dei raggruppamenti

La suddivisione in sezioni elettorali è assolutamente necessaria nel sistema di voto attualmente adottato a causa di problemi logistici: è impensabile infatti raggruppare tutte le schede e svolgere un'unica operazione di scrutinio, soprattutto considerando il livello di sorveglianza che sarebbe richiesto in ogni momento dell'operazione. In un sistema automatico come quello proposto, esente da queste problematiche, sono stati introdotti raggruppamenti di elettori per differenti ragioni.
In primo luogo, la complessità computazionale degli algoritmi più noti e affermati per la ring signature è lineare: questo preclude l'uso significativo di questa tecnologia (centrale nel modello proposto) per insiemi di chiavi sufficientemente grandi. Anche implementando i più recenti algoritmi sublineari, la divisione in raggruppamenti permette di limitare ulteriormente il carico ai nodi del sistema, migliorandone l'efficienza e limitandone i costi qualora si volesse migrare la VC su una blockchain pubblica, appoggiadosi ad esempio a piattaforme come Ethereum, in cui il costo

della transazione scala in base alla complessità del task da eseguire.
In secondo luogo, nel caso un attacco permettesse di replicare lo stesso voto più volte la divisione in raggruppamenti permette di contenere i danni al solo raggruppamento interessato.
È da sottolineare come, nel caso di un sistema elettronico, l'indipendenza dai problemi logistici dei sistemi tradizionali permetta di variare di volta in volta la composizione dei raggruppamenti, rendendo inutile qualsiasi informazione trapelata dalle votazioni precedenti. Questa è una condizione certamente più sicura di quella attuale, dove una semplice osservazione sul posto permette di identificare gli appartenenti a ciascuna sezione e far trapelare quindi informazioni (per quanto parziali) sulle preferenze di voto espresse: essendo i risultati delle votazioni per seggio pubblici, il trapelare di qualsiasi informazione sulla composizione del seggio è da considerarsi quantomeno indesiderato.

4.3.3 Prevedibili miglioramenti futuri al sistema

Al momento passaggi critici come l'autenticazione utente e il passaggio dalla SC alla VC devono essere svolti off-chain, ma future scoperte potrebbero aprire la strada verso implementazioni più complete. Portare l'autenticazione utente su blockchain è un progetto che si lega con la creazione di un sistema di identità digitale decentralizzata. Immaginando un futuro (ad ora remoto) in cui siano disponibili documenti affidabili on-chain attraverso qualche tecnologia, l'autenticazione utente potrebbe svolgersi in questo modo guadagnando le caratteristiche di decentralità e sicurezza proprie della blockchain.
Più vicino alla situazione attuale è un meccanismo che permetta di abilitare alla votazione su VC direttamente da SC, senza rinunciare all'anonimato del votante. Al momento, ogni chaincode di Hyperledger è eseguito in un ambiente completamente isolato per ragioni di sicurezza. Sono già previste successive implementazioni che permettano a diversi chaincode di interagire tra di loro. Questo aprirebbe ad una modifica del sistema di voto proposto: sarebbe possibile implementare su VC un sistema di token. Questi token sarebbero generati quando viene indetta la votazione in base al numero di aventi diritto al voto, e versati dai chaincode verso dei "portafogli" temporanei da loro generati casualmente. Questi sarebbero poi passati al client già cifrati in maniera da mantenere chiunque, eccetto il software del chaincode, all'oscuro dell'accoppiamento votante-portafoglio. Un aspetto critico di questa soluzione sarà l'assicurarsi che i token su VC possano essere creati solo ed esclusivamente dal chaincode di SC, e che non ci sia modo di far trapelare informazioni sull'associazione utente-portafoglio al di fuori del container in cui viene eseguito il chaincode.

Capitolo 5

Scenario attuale e sfide future

In questo capitolo si vuole presentare il quadro attuale della situazione attorno ai sistemi blockchain. Nuove tecnologie sono sviluppate continuamente, perciò dopo una breve panoramica sui progetti più interessanti già in stadio avanzato di sviluppo si illustreranno le sfide e gli ambiti di ricerca più ferventi, fino ad arrivare ad elencare alcune delle applicazioni che potrebbero conseguire dai risultati di tali ricerche.

5.1 Innovazioni vicine

Al momento si assiste ad una crescita rapidissima di Bitcoin, tale da portare l'argomento al di fuori degli ambiti specialistici e farlo diventare un vero e proprio fenomeno di massa. Dietro a Bitcoin si sta sviluppando un'enorme quantità di

Figura 5.1: Valore di mercato di Bitcoin.

applicazioni e sperimentazioni che riguardano blockchain, alcune delle quali hanno raggiunto ormai una certa stabilità. Molte di queste riguardano l'ambito economico e prendono il nome di *criptomonete*, altre invece si basano sulla blockchain per costruire sistemi più complessi.

5.1.1 Criptomonete

- **Ripple**: è il più famoso sistema di scambio di valuta basato su blockchain permissioned, adottato tra gli altri da MUFG, RBC, Santander, Unicredit, BBVA (https://ripple.com/);
- **Litecoin**: è una criptomoneta molto simile a Bitcoin da cui differisce per alcune caratteristiche chiave, su tutte il tempo necessario all'elaborazione di un blocco (2 minuti e mezzo contro i 10 minuti di Bitcoin) e il sistema di consenso. Litecoin infatti usa *scrypt* per la sua proof-of-work, una funzione gravosa sulla memoria piuttosto che sul processore che punta a evita il predominio delle server farm con hardware dedicato che controllano le operazioni di mining di Bitcoin;
- **Peercoin**: è una criptomoneta alternativa che adotta un algoritmo di consenso ibrido tra proof-of-work e proof-of-stake, allo scopo di portare un'alternativa solida all'enorme consumo energetico di Bitcoin;
- **Monero**: fork di Bitcoin che utilizza CryptoNote, un protocollo basato sulla Ring Signature orientato a rafforzare l'anonimato nella blockchain;
- **ZCash e ZCoin**: come Monero si pongono l'obiettivo di garantire la privacy in un sistema blockchain, usano algoritmi di tipo zero-knowledge sebbene con piccole differenze tra di loro [16];

Un'altra applicazione interessante a livello economico è quella legata all'uso di criptomonete per il crowd-funding. Questa trova una semplice implementazione direttamente in Bitcoin attraverso l'uso di quello che si chiama *assurance contract*. Si tratta di una transazione con un singolo output rappresentante l'obiettivo del finanziamento, a cui si unisce poi ciascun volontario partecipante tramite hash di tipo *SIGHASH_ALL* e *SIGHASH_ANYONECANPAY*, che permettono di modificare gli input di transazione ma non gli output (si rimanda alla documentazione ufficiale per approfondimento). La transazione può essere registrata in blockchain, e quindi essere effettiva, solo quando il valore di output è coperto da corrispondente valore in input, ovvero al raggiungimento dell'obiettivo della campagna di crowd-funding.

5.1.2 Non-Criptomonete

- **Ethereum**: si tratta del principale sistema basato su blockchain dopo Bitcoin. Il suo scopo è quello di permettere la creazione di applicazioni decentralizzate, che vengono eseguite come smart contract distribuiti tra i peer che partecipano alla rete. È il primo sistema blockchain ad aver introdotto un linguaggio Turing-completo (*Solidity*) e il concetto di macchina virtuale su blockchain, nel 2013. Si basa su una propria moneta virtuale che viene utilizzata per "alimentare" le applicazioni distribuite (in ambito Ethereum si parla di *gas*, abbreviazione di *gasoline*). Questa si chiama *Ether*, e al momento si trova saldamente al secondo posto come market cap dietro a Bitcoin;
- **Hyperledger Sawtooth**: Sawtooth è il framework del progetto Hyperledger a cui contribuisce Intel. Riprende l'idea di framework modulare propria di Fabric, ma ne rappresenta una versione maggiormente decentralizzata e

indipendente da un ordering service sfruttando un particolare algoritmo di consenso di default, detto Proof of Elapsed Time (PoET), che permette un funzionamento simile a quello della rete Bitcoin prescindendo dai problemi di consumo energetico in precedenza descritti. Hyperledger Sawtooth punta soprattutto alla versatilità supportando sia configurazioni di tipo permissioned che di tipo permissionless, unico progetto Hyperledger a farlo;

- **Hyperledger Iroha**: Iroha è un framework blockchain a cui contribuiscono Soramitsu, Hitachi, NTT Data e Colu. Hyperledger Iroha è progettato per essere semplice da integrare in progetti di infrastrutture basate su blockchain. Punta soprattutto allo sviluppo di applicazioni mobile, fornendo librerie client per Android e iOS. Ispirandosi a Hyperledger Fabric, Hyperledger Iroha cerca di fare da complemento ad Hyperledger Fabric e Hyperledger Sawtooth, fornendo nel contempo un ambiente di sviluppo per i programmatori C++ interessati a contribuire al progetto Hyperledger;

- **Hyperledger Indy**: è un sistema progettato per la gestione di identità digitali. Ancora in sviluppo, si avvale dei contributi della Sovrin Foundation ed è qui riportato come scenario futuro interessante: la riuscita di un progetto di questo tipo porterebbe un'accelerazione a tutti quei sistemi blockchain che necessitato di autenticazione utente, operazione finora relegata off-chain e a responsabilità di un garante. L'inserimento di Indy tra i progetti Hyperledger è sufficiente per richiamare l'attenzione sui suoi sviluppi futuri, sperando che presto raggiunga abbastanza stabilità da poterci basare altri servizi;

- **Quorum**: creata da JPMorgan, Quorum è di fatto un fork della blockchain pubblica di Ethereum che usa un algoritmo di consenso basato su votazione per fornire una piattaforma orientata all'uso enterprise di smart contract. La privacy dei dati è raggiunta nella rete di Quorum esponendoli sulla base delle necessità effettive del nodo;

- **OpenTimestamps**: servizio che mira a diventare uno standard per il timestamping via blockchain. Concatena hash crittografici dei dati di cui gli utenti richiedono il timestamping e ne registra il risultato in una transazione bitcoin, rendendolo quindi pubblico e immutabile;

- **Namecoin**: servizio basato su blockchain che si propone di potenziare decentralizzazione, sicurezza, resistenza alla censura, privacy e velocità di componenti alcune dell'infrastruttura di Internet come i DNS;

- **Everledger**: una nicchia promettente riguarda i sistemi ad-hoc con utilizzo ben preciso. Ne è un esempio Everledger, che si propone di tracciare e gestire storia e possesso di beni di lusso come i diamanti;

- **Filament**: la natura distribuita di blockchain la rende ideale per implementazione di applicazioni IoT che richiedano un adeguato livello di sicurezza. Lavora in questo ambito Filament, startup nata recentemente, nel 2017, che si pone come obiettivo la gestione di reti wireless sicure in ambito IoT;

- **Blockchain a livello enterprise**: per la creazione di applicazioni aziendali basate su blockchain è necessario appoggiarsi ad opportuni framework. Questi

devono rispettare requisiti imprescindibili per l'ambito business, tra cui fornire opportuna documentazione, supporto tecnico e rendere agevoli le operazioni di testing, integrazione, controlli di sicurezza. Esempi di piattaforme simili in sviluppo sono Hyperledger, Bloq, Chain, sebbene ciascuno di questi soffra al momento di poca stabilità dovuta alla loro ancora recente nascita;

- **Hawk**: è un sistema di smart contract che affronta il problema della poca privacy nelle transazioni delle blockchain più diffuse. Hawk fornisce uno strumento per la generazione di un "protocollo crittografico efficiente in cui le controparti del contratto interagiscono con la blockchain usando primitive crittografiche come gli algoritmi *zero-knowledge proof*." [19];

5.2 Sfide e ambiti di ricerca

5.2.1 Efficienza e scalabilità

Sono essenzialmente due gli obiettivi di ricerca per la soluzione ai problemi di efficienza e scalabilità, ovvero:

- Algoritmi di consenso;
- Problemi crittografici nuovi.

Il problema della scalabilità dei sistemi blockchain è molto dipendente dall'algoritmo di consenso implementato. Quelli ad oggi adottati su larga scala sono basati su proof-of-work, che paradossalmente basa la sua sicurezza sulla sua assoluta inefficienza. Inoltre, la storia di Bitcoin mostra come sia inefficace nel mantenere equilibrata la competizione tra i miner, portando un accentramento delle capacità di gestione della rete nelle mani di server farm dedicate. Ethereum migliora questo aspetto attraverso un algoritmo simile, ma in cui ha meno vantaggi investire in hardware dedicato. Tuttavia la ricerca ad un algoritmo che permetta l'effettiva "democratizzazione" del mining è ancora apertissima, accompagnata da quella su problemi crittografici meno parallelizzabili su cui basare ulteriori varianti degli algoritmi proof-of-work.

5.2.2 Standardizzazione e interoperabilità

Blockchain non è ancora una tecnologia sufficientemente matura da permettere una piena ed agevole integrazione con i sistemi esistenti. Emettere degli standard adeguati aiuterà a migliorare l'integrazione dei sistemi blockchain tanto fra di loro quanto con l'infrastruttura circostante.
Dal punto di vista applicativo lo sviluppo di framework come Hyperledger aiuta a creare una base solida e delle sottostrutture chiare per la progettazione di reti distribuite interoperanti, e maggiore sarà il numero di utenti che abbracceranno soluzioni di questo tipo minori saranno le differenze critiche tra sistema e sistema permettendo adattamenti più agevoli. D'altra parte, è necessario che tali piattaforme si sviluppino e allarghino la gamma di scenari modellabili venendo incontro alle necessità di gruppi di utenti sempre più grandi ed eterogenei.
Dal punto di vista normativo invece si sono visti passi in avanti con la creazione nel 2016 del comitato tecnico ISO/TC 307 "blockchain and distributed ledger technologies", che sta sviluppando il primo standard ISO ufficiale sull'argomento.

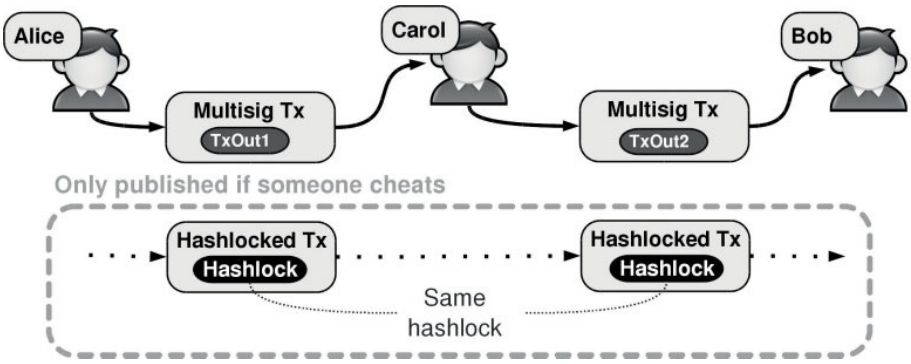


Figura 5.2: Transazione CoinSwap.

5.2.3 Privacy

Si possono distinguere due punti chiave in cui si sta lavorando per migliorare l'aspetto relativo alla privacy su blockchain. In primo luogo, l'uso di pseudonimi non può certo considerarsi un modo sicuro per nascondere l'identità che si cela dietro questi. In secondo luogo, in determinati casi è desiderabile garantire la riservatezza di alcuni dati salvati in catena, magari restringendone l'accesso solo a determinati utenti. Si riportano nel seguito alcune soluzioni a questi problemi.

Mixer

Prendono il nome di *mixer* tutte quelle tecnologie applicabili ai sistemi basati su token che permettono di offuscare mittente e destinatario delle transazioni senza intervenire direttamente sul protocollo.
Esempi notevoli sono *CoinJoin* e *CoinSwap*.

- In CoinJoin, più utenti concordano di "mescolare" una certa quantità di valuta e creano una singola transazione multi-input e multi-output, mescolando letteralmente i coin in loro possesso. Ciò permette di confondere la maggior parte delle strategie di analisi del traffico, poiché presuppongono tipicamente che gli indirizzi in input per ogni transazione appartengano allo stesso utente. Come altri servizi di mixing, non rende impossibile rompere l'anonimato degli indirizzi ma lo rende più difficoltoso.
- CoinSwap sfrutta invece un utente terzo che faccia da intermediario tra le controparti della transazione. Per garantire che l'intermediario rispetti l'accordo e non imbrogli il sistema, CoinSwap fa uso di transazioni bloccate, che possono essere sbloccate solo conoscendo la controimmagine di un dato hash (*hashlocked transaction*) e che sono pubblicate in chain solamente nel caso l'intermediario non rispetti gli accordi. La pubblicazione delle hashlocked transaction rompe l'anonimizzazione creata ma impedisce azioni malevole.

Condivisione selettiva di dati sensibili

Un possibile compromesso per tutelare la privacy dei dati condivisi riguarda la suddivisione del sistema in sotto-catene, in modo che ciascuna transazione sia condivisa non con la totalità dei nodi, ma solamente tra le due controparti ed un ristretto

insieme di controllori. Pur apprezzabile per quanto riguarda privacy e scalabilità, questo approccio va a ridurre sensibilmente la sicurezza dell'intero sistema. Non esiste più infatti una singola catena di transazioni concordate, e l'immutabilità del registro è tanto più debole quanti meno sono i nodi a conoscenza della transazione.

Frammentazione dei dati

Si potrebbero gestire dati criptati su blockchain affidandone la manipolazione a diversi partecipanti in maniera frammentaria. Le operazioni sono suddivise in frammenti non riconoscibili e distribuite in modo che ciascun nodo non abbia sufficienti informazioni da ricostruire il contesto da cui i dati provengono. Un esempio di protocollo che permette di ottenere un simile risultato è quello adottato dal sistema Enigma, sviluppato dal MIT [30].

Algoritmi zero-knowledge

Uno degli argomenti più dibattuti in crittografia negli ultimi anni sono le *zero-knowledge proof*. Si tratta di funzioni matematiche che possono essere eseguite su dati criptati in maniera che il loro risultato possa essere validato senza alcuna esposizione di dati non criptati. Acquistano un interesse particolare soprattutto pensando a sistemi basati su smart contract: potenzialmente permettono a diversi nodi di lavorare su uno smart contract senza che vengano loro rivelati i dati su cui stanno operando. Un primo esempio di applicazione di algoritmi zero-knowledge è zCash, che si basa su zk-SNARK [29].

5.3 Cosa si potrà fare

A raggiunta maturità tecnologica, blockchain potrà avere un ruolo chiave nella realizzazione di molteplici use case. Di seguito ne propongo alcuni relativamente vicini ed implementabili in un prossimo futuro, magari attraverso una collaborazione tra Infocamere e altre grandi aziende legate alla pubblica amministrazione.

Reti IoT sicure

In quanto sistema distribuito e decentralizzato, blockchain si propone come tassello fondamentale nella creazione di reti IoT sicure e certificate. Lo use case preso ad esempio da Hyperledger Sawtooth per illustrare sue potenzialità è proprio l'applicazione di blockchain ad una rete di sensori che traccino e certifichino la catena di produzione di beni deperibili come il pesce. Non è difficile immaginare molteplici applicazioni analoghe, in particolare riguardanti la certificazione di strumenti di misurazione di precisione o apparecchi di controllo quali i cronotachigrafi;

Digital Identity

La creazione di un sistema di identità digitale è già stata presentata come *work in progress* da parte di fondazioni come la Sovrin. Se una gestione completamente autonoma della propria identità digitale è un progetto a lungo termine, potrebbe non esserlo invece l'applicazione di blockchain a sistemi già in essere come lo SPID. Il livello di sicurezza garantito sarebbe sufficiente ad integrare questi sistemi con

una serie di funzionalità interessanti, tra cui ad esempio un sistema di firma digitale estremamente più *personale* e flessibile rispetto a quello di cui si può disporre oggi.

La firma digitale richiede infatti una serie di precauzioni considerevole. Immaginiamo a titolo esemplificativo di firmare un documento a valore legale utilizzando un qualsiasi sistema a chiave asimmetrica: ci si aspetta che questo documento possa rimanere disponibile per anni, e che la firma di ciascuno non sia usa e getta ma venga riutilizzata per firmare ogni documento. Ora, violare questa firma comporterebbe il decadimento della validità di tutti i documenti passati, presenti e futuri marcati attraverso di essa dal momento che questi potrebbero essere retrodatati da parte del ladro. Potrebbe non essere sufficiente nemmeno affidarsi a servizi di timestamping: se fosse proprio la chiave privata del server di timestamping ad essere trafugata, tutti i documenti precedenti alla compromissione della firma sarebbero completamente invalidati.

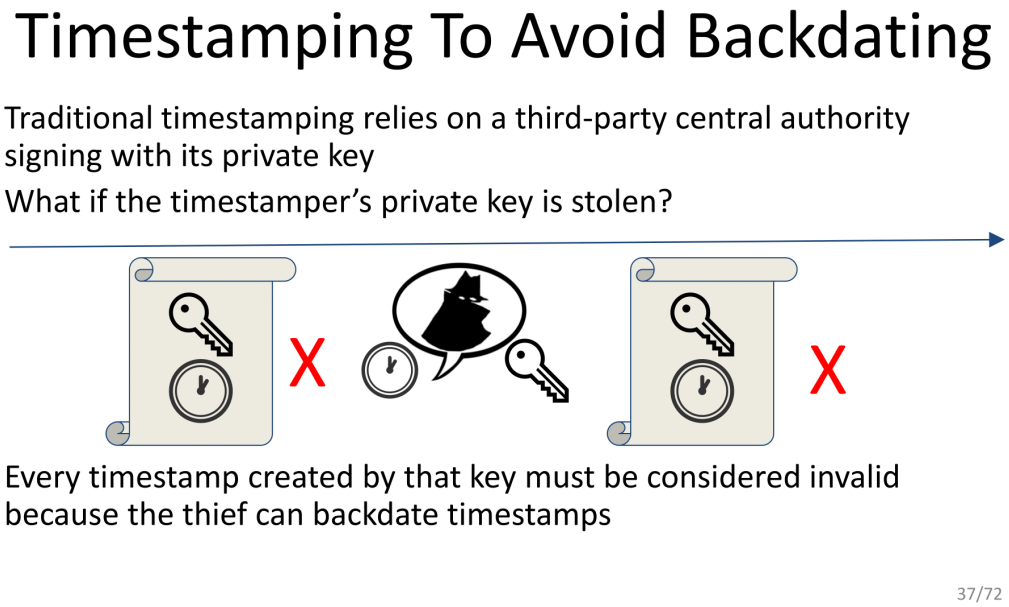


Figura 5.3: Furto della chiave privata. [1]

Fornire un sistema di firma digitale su blockchain che permettesse funzionalità di gestione della firma quali emissione della chiave pubblica, pubblicazione del certificato di revoca e timestamping dei documenti firmati, potrebbe rappresentare una soluzione efficace ed efficiente ai problemi sopra esposti. Sfrutterebbe l'immutabilità e la sicurezza di blockchain per impedire la falsificazione del timestamp, e se legato ad un sistema "ufficiale" di identità digitale potrebbe avere valore legale pur rimanendo personale nella gestione.

Controlli sull'immigrazione

Un altro ambito legato all'identità digitale che può rappresentare un ottimo use case per blockchain è la gestione dell'identità dei rifugiati. Sarebbe possibile non solo condividere i dati necessari all'identificazione, ma anche spostare tutta la gestione degli aiuti economici on-chain prescindendo quindi dalla moltitudine di organizzazioni che al momento fanno da intermediari, senza gravare eccessivamente sull'apparato

statale. Inoltre, la trasparenza di blockchain si coniuga molto bene con le necessità di controllo da parte di più enti su questi dati, e alla condivisione degli stessi anche tra più stati nel caso poi il rifugiato continui il proprio viaggio verso altri paesi.

Gestione di proprietà

Bitcoin è nato per modellare una sorta di oro digitale. In maniera molto simile, è possibile implementare un sistema blockchain che gestisca il possesso e il commercio di una generica proprietà. Ciascun *Digital Asset* vivrebbe on-chain e potrebbe essere trasferito di proprietario in proprietario senza bisogno della certificazione di un notaio o di altro ente esterno. Un sistema di smart contract potrebbe garantire che norme su controlli periodici obbligatori o pagamento di tasse come il bollo auto venissero rispettate correttamente, e l'intera storia dell'asset sarebbe tracciata e registrata con una trasparenza finora impensabile.

Un simile sistema semplificherebbe in maniera notevole la gestione dei DRM (*Digital Rights Management*) permettendo a chiunque di registrare la proprietà individuale di un opera che possa essere digitalizzata in qualche modo creando a tutti gli effetti il corrispondente asset e assegnandone a se la proprietà. Ciò aprirebbe ad una razionalizzazione del sistema di riconoscimento dei compensi derivati dai diritti di autore, che potrebbe essere spostata on-chain e automatizzata.

Capitolo 6

Conclusioni

6.1 Valutazione retrospettiva

L'esperienza di stage è stata assolutamente positiva. L'argomento si è rivelato particolarmente complesso da comprendere, ma l'approccio adottato, il supporto e gli stimoli ricevuti sono stati più che adeguati e mi hanno permesso un percorso di crescita estremamente soddisfacente. La natura interdisciplinare del progetto mi ha portato ad approfondire argomenti accennati ma non particolarmente approfonditi nel corso degli studi per la laurea triennale quali tecnologie di rete, sicurezza e crittografia. Inoltre, la mancanza di testi universalmente adottati come riferimento mi ha portato a consultare una gran quantità di materiale fino ad arrivare ad affrontare direttamente le pubblicazioni scientifiche sull'argomento, cosa che si è rivelata estremamente interessante e che immagino si rivelerà molto utile in futuro. A corollario, ho trovato piacevoli spunti di riflessione anche nell'osservare più linguaggi di programmazione diversi da quelli affrontati nel corso di laurea (tra cui, ma non solo, Go e Solidity) e nel confronto tra loro e quanto già imparato finora.

Sono consapevole della fortuna avuta nel poter confrontarmi con argomenti tanto attuali quanto stimolanti nel contesto di un'attività di tirocinio, ringrazio moltissimo i miei referenti interni all'azienda Enrico Notariale e Luca Brizzolari per le innumerevoli opportunità di confronto offertemi e mi auguro di poter proseguire i miei studi sull'argomento attraverso ulteriori esperienze in azienda e il corso di laurea magistrale.

6.1.1 Raggiungimento degli obiettivi

Nel piano di lavoro erano stati individuati i seguenti obiettivi:

- **Minimi:**
  - **min01**: Analisi delle potenzialità della tecnologia blockchain, in particolare Hyperledger Fabric;
  - **min02**: Installazione dell'architettura in un ambiente di sviluppo;
  - **min03**: Creazione di un ambiente di sviluppo.
- **Massimi**:
  - **max01**: SWOT Analysis;

  - **max02**: Predisposizione di una demo.

- **Formativi**:

  - **for01**: Acquisizione abilità nella gestione di aspetti riguardanti l'analisi di un progetto innovativo in un ambito aziendale (e.g. nuovi linguaggi, sistemi);
  - **for02**: Interagire con un progetto Open-Source e la relativa community;
  - **for03**: Sperimentare tecnologie interessanti per l'ingresso nel mondo del lavoro.

Nel complesso posso dire raggiunti gli obiettivi pianificati, quasi tutti rispettando in pieno le aspettative. L'unico punto in cui è stato necessario scendere a compromessi è stata la predisposizione della demo: sebbene sia stata progettata e sia stato predisposto un accenno di implementazione, questa non può certo dirsi completa. La mutevolezza della piattaforma su cui stavamo lavorando si è resa evidente con la presenza di file nel repository non ancora documentati, e cambiamenti considerevoli da una settimana all'altra. Di conseguenza, si è ritenuto più proficuo indugiare nelle attività di analisi e confronto tra tecnologie riservando a progetti futuri l'implementazione effettiva del prototipo.

6.2 Conclusioni e prosieguo del progetto

In conclusione, l'esperienza di tirocinio ha confermato quanto suggerito dagli studi di Gartner: blockchain è una realtà tanto dirompente quanto delicata da implementare in ambito business. Soffre dei problemi di gioventù tipici di un sistema innovativo, a cui vanno ad aggiungersi criticità specifiche dovute alla sua complessità e al suo orientamento a sistema certificatore e garante, che non consente incertezze di rischio nel suo utilizzo. Nonostante ciò, promette innovazioni troppo importanti per essere ignorata. Ciò suggerisce una riflessione alle aziende più attente all'argomento: conviene approfittare di questo periodo di incubazione per studiare, sperimentare e accumulare le conoscenze necessarie per essere operativi e consapevoli nel seguire l'evoluzione tecnologica dei prossimi anni.

In accordo con i miei referenti, nel prossimo periodo continueranno i miei rapporti con Infocamere per proseguire ed integrare quanto fatto finora consolidando le conoscenze acquisite e arrivando sperabilmente ad una implementazione efficace di una o più sperimentazioni. Sono convinto che questo percorso possa portare l'azienda ad acquisire quella confidenza necessaria per perseguire i propri obiettivi di ricerca e innovazione, e possa portare a me una crescita inestimabile dal punto di vista intellettuale e professionale che spero di riuscire a ricambiare con risultati adeguati.

Appendice A

Implementazione

Si descrive nel seguito il procedimento seguito per creare una piccola demo del sistema di voto basata su Hyperledger Fabric. Prima di tutto si procederà a virtualizzare una semplice rete formata da un solo peer e un solo orderer, ed in seguito si descriverà l'uso di Hyperledger Composer per la configurazione del sistema fino alla creazione di opportune API REST su cui basare un'applicazione.

A.1 Costruzione della rete

Si presuppone che nel sistema siano stati installati e configurati i software necessari, in particolare in questa sezione si uilizzeranno i binari di Hyperledger Fabric (che devono essere inseriti nel PATH), Docker e Docker-Compose.

A.1.1 Crypto Generator

Per prima cosa si genera il materiale crittografico necessario all'identificazione delle diverse entità in rete. Si tratta sostanzialmente di coppie di chiavi pubblica e privata, per consentiranno le operazioni di firma e verifica che avverranno quando i diversi attori effettueranno transazioni e comunicheranno tra loro.

Cryptogen fa riferimento ad un file, `crypto-config.yaml`, che contiene le informazioni sulla topologia di rete necessarie ad individuare le entità coinvolte.

```
# Copyright IBM Corp. All Rights Reserved.
#
# SPDX-License-Identifier: Apache-2.0
#

# ---------------------------------------------------------------------------
# "OrdererOrgs" - Definition of organizations managing orderer nodes
# ---------------------------------------------------------------------------
OrdererOrgs:
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # Orderer
  # ---------------------------------------------------------------------------
  - Name: Orderer
    Domain: eurasia.com
    # ---------------------------------------------------------------------------
    # "Specs" - See PeerOrgs below for complete description
    # ---------------------------------------------------------------------------
    Specs:
      - Hostname: orderer
# ---------------------------------------------------------------------------
# "PeerOrgs" - Definition of organizations managing peer nodes
# ---------------------------------------------------------------------------
PeerOrgs:
```

```
# ---------------------------------------------------------------------------
# Org1
# ---------------------------------------------------------------------------
- Name: Stato
  Domain: Stato.eurasia.com
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # "Specs"
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # Uncomment this section to enable the explicit definition of hosts in your
  # configuration.  Most users will want to use Template, below
  #
  # Specs is an array of Spec entries.  Each Spec entry consists of two fields:
  #   - Hostname:   (Required) The desired hostname, sans the domain.
  #   - CommonName: (Optional) Specifies the template or explicit override for
  #                 the CN.  By default, this is the template:
  #
  #                            "{{.Hostname}}.{{.Domain}}"
  #
  #                 which obtains its values from the Spec.Hostname and
  #                 Org.Domain, respectively.
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # Specs:
  #   - Hostname: foo # implicitly "foo.org1.example.com"
  #     CommonName: foo27.org5.example.com # overrides Hostname-based FQDN set
    above
  #   - Hostname: bar
  #   - Hostname: baz
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # "Template"
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # Allows for the definition of 1 or more hosts that are created sequentially
  # from a template. By default, this looks like "peer%d" from 0 to Count-1.
  # You may override the number of nodes (Count), the starting index (Start)
  # or the template used to construct the name (Hostname).
  #
  # Note: Template and Specs are not mutually exclusive.  You may define both
  # sections and the aggregate nodes will be created for you.  Take care with
  # name collisions
  # ---------------------------------------------------------------------------
  Template:
    Count: 1
    # Start: 5
    # Hostname: {{.Prefix}}{{.Index}} # default
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # "Users"
  # ---------------------------------------------------------------------------
  # Count: The number of user accounts _in addition_ to Admin
  # ---------------------------------------------------------------------------
  Users:
    Count: 0
```

Posizionandosi nella cartella in cui si trova questo file, il comando da lanciare è il seguente:

```
cryptogen generate --config=./crypto-config.yaml
```

Al termine gli artefatti generati si troveranno nella cartella `crypto-config`.

A.1.2 Configuration Transaction Generator

Il tool `configtxgen` si usa per la creazione di tre categorie di artefatti:

- il *genesis block* dell'orderer,
- le *transazioni di configurazione* dei canali,
- le transazioni che definiscono gli *anchor peer* - una per ogni organizzazione.

Configtxgen sfrutta il file `configtx.yaml`, che si troverà nel percorso indicato dalla variabile `FABRIC_CFG_PATH`.

Il contenuto del file sarà il seguente:

```
# Copyright IBM Corp. All Rights Reserved.
#
# SPDX-License-Identifier: Apache-2.0
#

---
################################################################################
#
#   Profile
#
#   - Different configuration profiles may be encoded here to be specified
#   as parameters to the configtxgen tool
#
################################################################################
Profiles:

    VotingOrdererGenesis:
        Orderer:
            <<: *OrdererDefaults
            Organizations:
                - *OrdererOrg
        Consortiums:
            VotingConsortium:
                Organizations:
                    - *Stato
    VotingChannel:
        Consortium: VotingConsortium
        Application:
            <<: *ApplicationDefaults
            Organizations:
                - *Stato

################################################################################
#
#   Section: Organizations
#
#   - This section defines the different organizational identities which will
#   be referenced later in the configuration.
#
################################################################################
Organizations:

    # SampleOrg defines an MSP using the sampleconfig.  It should never be used
    # in production but may be used as a template for other definitions
    - &OrdererOrg
        # DefaultOrg defines the organization which is used in the sampleconfig
        # of the fabric.git development environment
        Name: OrdererOrg

        # ID to load the MSP definition as
        ID: OrdererMSP

        # MSPDir is the filesystem path which contains the MSP configuration
        MSPDir: crypto-config/ordererOrganizations/eurasia.com/msp

        # turn off security for the channel
        AdminPrincipal: Role.MEMBER

    - &Stato
        # DefaultOrg defines the organization which is used in the sampleconfig
        # of the fabric.git development environment
        Name: Stato

        # ID to load the MSP definition as
        ID: StatoMSP

        MSPDir: crypto-config/peerOrganizations/Stato.eurasia.com/msp

        # turn off security for the peer
```

```
        AdminPrincipal: Role.MEMBER

        AnchorPeers:
            # AnchorPeers defines the location of peers which can be used
            # for cross org gossip communication.  Note, this value is only
            # encoded in the genesis block in the Application section context
            - Host: peer0.Stato.eurasia.com
              Port: 7051

################################################################################
#
#   SECTION: Orderer
#
#   - This section defines the values to encode into a config transaction or
#   genesis block for orderer related parameters
#
################################################################################
Orderer: &OrdererDefaults

    # Orderer Type: The orderer implementation to start
    # Available types are "solo" and "kafka"
    OrdererType: solo

    Addresses:
        - orderer.eurasia.com:7050

    # Batch Timeout: The amount of time to wait before creating a batch
    BatchTimeout: 2s

    # Batch Size: Controls the number of messages batched into a block
    BatchSize:

        # Max Message Count: The maximum number of messages to permit in a batch
        MaxMessageCount: 10

        # Absolute Max Bytes: The absolute maximum number of bytes allowed for
        # the serialized messages in a batch.
        AbsoluteMaxBytes: 98 MB

        # Preferred Max Bytes: The preferred maximum number of bytes allowed for
        # the serialized messages in a batch. A message larger than the preferred
        # max bytes will result in a batch larger than preferred max bytes.
        PreferredMaxBytes: 512 KB

    Kafka:
        # Brokers: A list of Kafka brokers to which the orderer connects
        # NOTE: Use IP:port notation
        Brokers:
            - 127.0.0.1:9092

    # Organizations is the list of orgs which are defined as participants on
    # the orderer side of the network
    Organizations:

################################################################################
#
#   SECTION: Application
#
#   - This section defines the values to encode into a config transaction or
#   genesis block for application related parameters
#
################################################################################
Application: &ApplicationDefaults

    # Organizations is the list of orgs which are defined as participants on
    # the application side of the network
    Organizations:
```

Nel caso specifico, risulta superfluo definire gli anchor peer in quanto di peer ne sarà presente solamente uno. Ci si limiterà quindi a dare i comandi necessari alla generazione del genesis block e della transazione di configurazione del canale, ovvero:

```
export FABRIC_CFG_PATH=$PWD

configtxgen -profile VotingOrdererGenesis \
            -outputBlock ./voting-genesis.block

configtxgen -profile VotingChannel \
            -outputCreateChannelTx ./voting-channel.tx \
            -channelID votingchannel
```

A.1.3 Avvio della rete

Terminata la creazione degli artefatti necessari all'avvio della rete, si può procedere ad avviare i container docker come configurati nel file `docker-compose.yml` riportato di seguito. Si presti particolare attenzione al campo `CORE_VM_DOCKER_HOSTCONFIG_NETWORKMODE` , variabile di ambiente del peer. Questo deve avere valore `folder_defaut` dove `folder` è il nome della cartella in cui è salvato il file stesso (in questo caso `voting`).

```
version: '2'

services:
  ca.Stato.eurasia.com:
    image: hyperledger/fabric-ca:$ARCH-1.0.4
    environment:
      - FABRIC_CA_HOME=/etc/hyperledger/fabric-ca-server
      - FABRIC_CA_SERVER_CA_NAME=ca.Stato.eurasia.com
#      - FABRIC_CA_SERVER_CA_CERTFILE=/etc/hyperledger/fabric-ca-server-config/
    Stato.eurasia.com-cert.pem
#      - FABRIC_CA_SERVER_CA_KEYFILE=/etc/hyperledger/fabric-ca-server-config/
    a22daf356b2aab5792ea53e35f66fccef1d7f1aa2b3a2b92dbfbf96a448ea26a_sk

    ports:
      - "7054:7054"
    command: sh -c 'fabric-ca-server start --ca.certfile /etc/hyperledger/fabric-ca
        -server-config/ca.Stato.eurasia.com-cert.pem --ca.keyfile /etc/hyperledger/
        fabric-ca-server-config/58
        e32950d4ee411b0d15c8e1f97f3863575f9bef77fee7979c1525567fd064e0_sk -b
        businessNetworkAdmin:adminpw -d'
    volumes:
      - ./crypto-config/peerOrganizations/Stato.eurasia.com/ca/:/etc/hyperledger/
          fabric-ca-server-config
    container_name: ca.Stato.eurasia.com

  orderer.eurasia.com:
    container_name: orderer.eurasia.com
    image: hyperledger/fabric-orderer:$ARCH-1.0.4
    environment:
      - ORDERER_GENERAL_LOGLEVEL=debug
      - ORDERER_GENERAL_LISTENADDRESS=0.0.0.0
      - ORDERER_GENERAL_GENESISMETHOD=file
      - ORDERER_GENERAL_GENESISFILE=/etc/hyperledger/configtx/voting-genesis.block
      - ORDERER_GENERAL_LOCALMSPID=OrdererMSP
      - ORDERER_GENERAL_LOCALMSPDIR=/etc/hyperledger/msp/orderer/msp
    working_dir: /opt/gopath/src/github.com/hyperledger/fabric
    command: orderer
    ports:
      - 7050:7050
    volumes:
        - ./:/etc/hyperledger/configtx
        - ./crypto-config/ordererOrganizations/eurasia.com/orderers/orderer.eurasia
            .com/msp:/etc/hyperledger/msp/orderer/msp

  peer0.Stato.eurasia.com:
    container_name: peer0.Stato.eurasia.com
    image: hyperledger/fabric-peer:$ARCH-1.0.4
    environment:
      - CORE_LOGGING_PEER=debug
      - CORE_CHAINCODE_LOGGING_LEVEL=DEBUG
```

```
      - CORE_VM_ENDPOINT=unix:///host/var/run/docker.sock
      - CORE_PEER_ID=peer0.Stato.eurasia.com
      - CORE_PEER_ADDRESS=peer0.Stato.eurasia.com:7051
      - CORE_VM_DOCKER_HOSTCONFIG_NETWORKMODE=voting_default
      - CORE_PEER_LOCALMSPID=StatoMSP
      - CORE_PEER_MSPCONFIGPATH=/etc/hyperledger/peer/msp
      - CORE_LEDGER_STATE_STATEDATABASE=CouchDB
      - CORE_LEDGER_STATE_COUCHDBCONFIG_COUCHDBADDRESS=couchdb:5984
    working_dir: /opt/gopath/src/github.com/hyperledger/fabric
    command: peer node start --peer-defaultchain=false
    ports:
      - 7051:7051
      - 7053:7053
    volumes:
        - /var/run/:/host/var/run/
        - ./:/etc/hyperledger/configtx
        - ./crypto-config/peerOrganizations/Stato.eurasia.com/peers/peer0.Stato.
          eurasia.com/msp:/etc/hyperledger/peer/msp
        - ./crypto-config/peerOrganizations/Stato.eurasia.com/users:/etc/
          hyperledger/msp/users
    depends_on:
      - orderer.eurasia.com
      - couchdb

  couchdb:
    container_name: couchdb
    image: hyperledger/fabric-couchdb:$ARCH-1.0.4
    ports:
      - 5984:5984
    environment:
      DB_URL: http://localhost:5984/member_db
```

I comandi da impartire sono i seguenti:

```
# set useful variables
ARCH=‘uname -m‘
DIR="$( cd "$( dirname "${BASH_SOURCE[0]}" )" && pwd )"
export FABRIC_START_TIMEOUT=15

ARCH=$ARCH docker-compose \
            -f "${DIR}"/voting/docker-compose.yml up -d
```

Al termine della creazione dei container Docker è possibile impartire direttamente al peer i comandi per la creazione effettiva del canale e la registrazione del peer stesso nel canale appena creato:

```
docker exec peer0.Stato.eurasia.com peer channel create \
            -o orderer.eurasia.com:7050 \
            -c votingchannel \
            -f /etc/hyperledger/configtx/voting-channel.tx

docker exec \
-e "CORE_PEER_MSPCONFIGPATH=/etc/hyperledger/msp/users/Admin@Stato.
   eurasia.com/msp" \
peer0.Stato.eurasia.com peer channel join -b votingchannel.block
```

A.1.4 Creazione della card di amministrazione

Per la gestione della rete tramite Hyperledger Composer è necessario creare ed importare una *card* che contenga le informazioni necessarie ad identificare l'amministratore del sistema Fabric. Per fare ciò, si crea un file `/tmp/.connection.json` che contiene le seguenti informazioni:

```
{
```

```
"name": "voting-network",
"type": "hlfv1",
"orderers": [
    { "url" : "grpc://localhost:7050" }
],
"ca": { "url": "http://localhost:7054", "name": "ca.Stato.eurasia.
   com"},
"peers": [
    {
        "requestURL": "grpc://localhost:7051",
        "eventURL": "grpc://localhost:7053"
    }
],
"channel": "votingchannel",
"mspID": "StatoMSP",
"timeout": 300
}
```

In seguito è necessario localizzare chiave privata e certificato dell'amministratore di rete. Si trovano tra gli artefatti generati da `crtyptogen`, in particolare nelle cartelle `keystore` e `signcerts` della cartella `msp`. La chiave privata è un file con un nome che termina con `_sk`, mentre il certificato è un file `.pem`. Identificati questi file, e salvatone il percorso rispettivamente nelle variabili `PRIVATE_KEY` e `CERT`, è possibile lanciare i seguenti comandi per creare ed importare la card:

```
composer card create -p /tmp/.connection.json -u PeerAdmin \
            -c "${CERT}" -k "${PRIVATE_KEY}" -r PeerAdmin \
            -r ChannelAdmin --file /tmp/PeerAdmin@hlfvoting.card

composer card import --file /tmp/PeerAdmin@hlfvoting.card
```

A.2 Utilizzo del composer

A.2.1 Creare una nuova struttura di rete

Il concetto chiave nell'utilizzo di Hyperledger Composer è la *"business network definition" (BND)*, che definisce il modello dei dati, le regole di accesso e la logica delle transazioni della nostra rete. Per creare la scheletro del progetto si può usare Yeoman generator, installato in precedenza assieme al Composer:

```
yo hyperledger-composer:businessnetwork
```

Inseriamo "voting-network" come nome della rete e "eurasia.voting" come namespace.

A.2.2 Definire le caratteristiche della rete

La nostra rete si fonda su asset (e.g i raggruppamenti di votanti), partecipanti (e.g votanti e candidati), transazioni come quella che permette ad un utente di votare e query che consentano la consultazione agevole dei dati. Come output del comando precedente, c'è un file di modello (`.cto`) che conterrà le definizioni di ciascuna classe di asset, transazioni, partecipanti ed eventi. Il contenuto di questo file sarà:

```
/**
* My voting network
```

```
*/

namespace eurasia.voting


// assets
asset VotingGroup identified by groupId {
  o String groupId
  o String[] members
}

asset Vote identified by voteId {
  o String voteId
  o String[] voteSig
  --> VotingGroup group
  --> Candidate recipient
}

asset Candidate identified by candidateId {
  o String candidateId
  o String firstName
  o String lastName
  o Integer balance
}


// participants
participant Client identified by clientId {
  o String clientId
}

participant PollAdmin identified by adminId{
  o String adminId
}


// transactions
transaction Voting {
  o String signature
  --> VotingGroup group
  --> Candidate recipient
}

transaction Change {
  o String signature
  --> Vote vote
  --> Candidate newRecipient
}
```

A.2.3 Scrivere la logica delle transazioni in JavaScript

Nel file di modello è stata definita una transazione `Vote`, il cui scopo è quello di creare un nuovo voto ed indirizzarlo al candidato prescelto. Editiamo il file `logic.js` per specificare il comportamento di questa transazione usando il linguaggio JavaScript, prestando attenzione ad utilizzare la sintassi accettata dal Transaction processor di Composer.

```
/**
* Vote for a candidate
* @param {eurasia.voting.Voting} voting - the vote to be processed
* @transaction
*/
function newVote(voting) {
    // This computation should be performed off-chain, now it's executed here onlu
        for test purpose
    var mySig = computeSig(voting.signature);
    // Check if there is another vote created by the same voter
    return getAssetRegistry('eurasia.voting.Vote')
        .then(function (assetRegistry) {
```

```
            return assetRegistry.getAll();
        })
        .then(function (voteList) {
            voteList.forEach(function (vote) {
                if (haveSameSigner(mySig, vote.voteSig)) {
                    throw new Error('Voter has already voted');
                }
            })
            return;
        })
        // Create the Vote asset
        .then(function () {
            // Get the factory for creating new asset instances
            var factory = getFactory();
            // Create the vote.
            var vote = factory.newResource('eurasia.voting', 'Vote', new Date().
                getTime().toString());
            vote.voteSig = mySig;
            vote.group = voting.group;
            vote.recipient = voting.recipient;
            voting.recipient.balance++;
            // Update the registry
            return getAssetRegistry('eurasia.voting.Vote')
                .then(function (voteRegistry) {
                    // Update the asset in the asset registry. Again, note
                    // that update() returns a promise, so so we have to return
                    // the promise so that Composer waits for it to be resolved.
                    return voteRegistry.add(vote)
                })
                .then(function () {
                    return getAssetRegistry('eurasia.voting.Candidate')
                })
                .then(function (candidateRegistry) {
                    return candidateRegistry.update(voting.recipient);
                });
        })
}

/**
* Change the recipient of a Vote
* @param {eurasia.voting.Change} change - the change operation to be processed
* @transaction
*/
function changeVote(change) {
    // This computation should be performed off-chain, now it's executed here onlu
        for test purpose
    var mySig = computeSig(change.signature);
    if (!haveSameSigner(mySig, change.vote.voteSig)) {
        throw new Error("Signature not matching, you can't change this vote");
    }
    var oldRecipient = change.vote.recipient;
    change.vote.recipient.balance--;
    change.vote.recipient = change.newRecipient;
    change.newRecipient.balance++;
    return getAssetRegistry('eurasia.voting.Vote')
        .then(function (voteRegistry) {
            // Update the asset in the asset registry. Again, note
            // that update() returns a promise, so so we have to return
            // the promise so that Composer waits for it to be resolved.
            return voteRegistry.update(change.vote)
        })
        .then(function () {
            return getAssetRegistry('eurasia.voting.Candidate')
        })
        .then(function (candidateRegistry) {
            return candidateRegistry.updateAll([change.newRecipient, oldRecipient])
                ;
        });
}

/*
* This function should represent the implementation of a linkable ring signature
    algorythm. In this PoC it will return a simple timestamp + an arbitrary id
```

```
*/
function computeSig(mySig) {
    var sig = new Array(new Date().getTime().toString());
    sig.push(mySig);
    return sig;
}

/*
* This function should represent the verification of a linkable ring signature
*/
function haveSameSigner(sig1, sig2) {
    if (sig1[1] === sig2[1]) {
        return true;
    }
    return false;
}
```

A.2.4 Aggiungere il controllo agli accessi

Creiamo il file `permissions.acl` nella cartella `voting-network`, e al suo interno specifichiamo le regole per il controllo degli accessi in questo modo:

```
/**
* Access control rules for voting-network
*/

rule OminscientClient {
  description: "Allow client to read system configurations"
  participant: "eurasia.voting.Client"
  operation: READ
  resource: "**"
  action: ALLOW
}

rule Vote {
  description: "Allow all voters to perform a Voting transaction"
  participant: "eurasia.voting.Client"
  operation: ALL
  resource: "**"
  transaction: "eurasia.voting.Voting"
  action: ALLOW
}

rule CreateVoting {
  description: "Allow all voters to submit a Voting transaction"
  participant: "eurasia.voting.Client"
  operation: CREATE
  resource: "eurasia.voting.Voting"
  action: ALLOW
}

rule Change {
  description: "Allow all voters to perform a Change transaction"
  participant: "eurasia.voting.Client"
  operation: ALL
  resource: "**"
  transaction: "eurasia.voting.Change"
  action: ALLOW
}

rule CreateChange {
  description: "Allow all voters submit a Change transaction"
  participant: "eurasia.voting.Client"
  operation: CREATE
  resource: "eurasia.voting.Change"
  action: ALLOW
}

rule NetworkAdminUser {
  description: "Grant business network administrators full access to user resources
      "
```

```
  participant: "org.hyperledger.composer.system.NetworkAdmin"
  operation: ALL
  resource: "**"
  action: ALLOW
}

rule NetworkAdminSystem {
  description: "Grant business network administrators full access to system
      resources"
  participant: "org.hyperledger.composer.system.NetworkAdmin"
  operation: ALL
  resource: "org.hyperledger.composer.system.**"
  action: ALLOW
}
```

A.2.5 Generare il Business network archive

Terminata la definizione delle proprietà della rete è necessario impacchettarla in un file `.bna` che rappresenta un archivio esportabile da cui poter poi effettuare il deploy su un sottostante sistema Fabric. Per fare ciò è necessario:

- Spostarsi nella cartella `voting-network`
- Lanciare il seguente comando da terminale:

  ```
  composer archive create -t dir -n .
  ```

Al termine dell'esecuzione potremo trovare un file chiamato `voting-network@0.0.1.bna` nella cartella da cui abbiamo lanciato il comando.

A.3 Deploy della rete sul sottosistema Fabric

Per effettuare il deploy della rete creata con Hyperledger Composer su Hyperledger Fabric è necessario che il chaincode di Composer sia installato sul peer. Successivamente il file `.bna` creato deve essere inviato al peer e una nuova identità di *amministratore di rete* deve essere creata per gestire la business network. La card di amministrazione appena creata deve essere poi importata, prima di effettuare un test della rete attraverso di essa.

L'installazione del chaincode avviene tramite l'identità di amministrazione di Fabric creata in precedenza, e il comando da impartire è:

```
composer runtime install --card PeerAdmin@voting-network \
                         --businessNetworkName voting-network
```

Collocadosi poi nella cartella contenente il file `.bna` lanciamo il comando

```
composer network start --card PeerAdmin@voting-network \
                       --networkAdmin businessNetworkAdmin \
                       --networkAdminEnrollSecret adminpw \
                       --archiveFile voting-network@0.0.1.bna \
                       --file votingnetworkadmin.card
```

che avvia la rete e crea l'identità di amministrazione di rete salvandola in `votingnetworkadmin.card`.

L'importazione della card appena creata si effettua con il già noto comando `composer card import`, mentre per testare che il deploy sia andato a buon fine basta affidarsi al comando:

```
composer network ping --card businessNetworkAdmin@voting-network
```

A.3.1 Generare un server REST

Hyperledger Composer fornisce un comando per la generazione automatica di una API REST basata sulla rete creata, ovvero

```
composer-rest-server
```

Il comando richiede una card di amministratore di rete, quindi passiamo quella generata in fase di deploy: `businessNetworkAdmin@voting-network`. Completando la configurazione guidata, Composer genererà un web server in ascolto sulla porta `:3000`, e dotato di una pagina per la visualizzazione e il test all'indirizzo `http://localhost:3000/explorer`.

Bibliografia

[1] Ferdinando Ametrano. Bitcoin, blockchain, and distributed ledger technology: Hype or reality?, 2017. [Online, acceduto 30/11/2017].

[2] Ferdinando M. Ametrano. Hayek money: the cryptocurrency price stability solution. Technical report, Milan Bicocca University, 2016. `https://papers.ssrn.com/abstract=2425270` [Online; acceduto 30/10/2017].

[3] Ferdinando M. Ametrano. Bitcoin and blockchain technology: An introduction, 2017. [Slides online, acceduto 02/11/2017].

[4] Saifedean Hisham Ammous. Blockchain technology: What is it good for? Technical report, Lebanese American University, 2016. `https://papers.ssrn.com/abstract=2832751` [Online; acceduto 02/11/2017].

[5] Adam Back, Matt Corallo, Luke Dashjr, Mark Friedenbach, Gregory Maxwell, Andrew Miller, Andrew Poelstra, Jorge Timòn, and Pieter Wuille. Enabling blockchain innovations with pegged sidechains, 2014. [Online, acceduto 30/10/2017].

[6] Imran Bashir. *Mastering Blockchain*. Packt, 2017.

[7] BitcoinWiki. Hashcash, 2017. [Online, acceduto 08/11/2017].

[8] Vitalik Buterin. Casper version 1 implementation guide, 2017. [Online; acceduto 30/10/2017].

[9] Miguel Castro and Barbara Liskov. Practical byzantine fault tolerance. Technical report, MIT, 1999. `http://pmg.csail.mit.edu/papers/osdi99.pdf` [Online; acceduto 23/10/2017].

[10] corbixgwelt. Timejacking & bitcoin, the global time agreement puzzle, 2011. [Online, acceduto 10/11/2017].

[11] Manoj Debnath. Getting started with mongodb as a java nosql solution. [Online, acceduto 07/11/2017].

[12] Yevgeniy Dodis, Aggelos Kiayias, Antonio Nicolosi, and Victor Shoup. Anonymous identification in ad hoc groups. Technical report, EUROCRYPT 2004, volume 3027 of LNCS, pages 609–626., 2004. `https://www.iacr.org/archive/eurocrypt2004/30270605/ad_hoc_groups.pdf` [Online; acceduto 10/01/2018].

[13] Pedro Franco. *Understanding Bitcoin*. Wiley, 2015.

[14] David Furlonger and Ray Valdes. Hype Cycle for Blockchain Technologies and the Programmable Economy, 2016. Technical report, Gartner, Inc., 2016. ID: G00308190.

[15] Seth Gilbert and Nancy A. Lynch. Perspectives on the cap theorem. Technical report, MIT, 2002.

[16] Poramin Insom. ZCoin and zCash: Similarities and differences, 2016. [Online, acceduto 09/11/2017].

[17] Rick Echevarria (Intel). 2017: A summer of consensus, 2017. [Online; acceduto 30/10/2017].

[18] Repubblica Italiana. Costituzione, art. 48, 1948.

[19] Ahmed Kosba, Andrew Miller, Elaine Shi, Zikai Wen, and Charalampos Papamanthou. Hawk: The blockchain model of cryptography and privacy-preserving smart contracts. Technical report, University of Maryland and Cornell University, 2015. `https://eprint.iacr.org/2015/675.pdf` [Online; acceduto 10/11/2017].

[20] Leslie Lamport, Marshall Pease, and Robert Shostak. The byzantine generals problem. Technical report, ACM, 1982. `http://lamport.azurewebsites.net/pubs/pubs.html#byz` [Online; acceduto 23/10/2017].

[21] David Mazieres. The stellar consensus protocol: A federated model for internet-level consensus, 2016. [Online; acceduto 30/10/2017].

[22] Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Technical report, The Cryptography Mailing List, 2008. `https://bitcoin.org/bitcoin.pdf` [Online; acceduto 07/11/2017].

[23] Patrick P.Tsang and Victor K. Wei. Short linkable ring signatures for e-voting, e-cash and attestation. Technical report, The Chinese University of Hong Kong, 2004. `https://eprint.iacr.org/2004/281.pdf` [Online; acceduto 20/11/2017].

[24] DJ Qian. The fourth industrial revolution: Blockchain tech and the integration of trust, 2017. [Online, acceduto 02/11/2017].

[25] Jon-Mark Sabel. How AI is transforming pre-hire assessments - Hirevue blog, 2017. [Online; acceduto 23/10/2017].

[26] David Siegel. Understanding the dao attack, 2016. [Online, acceduto 07/11/2017].

[27] Melanie Swan. *Blockchain, Blueprint for a New Economy.* O'Reilly, 2015.

[28] Wikipedia. Ring signature. [Online, acceduto 06/11/2017].

[29] z.cash. What are zk-snarks?, 2017. [Online, acceduto 27/11/2017].

[30] Guy Zyskind, Oz Nathan, and Alex Pentland. Enigma: Decentralized computation platform with guaranteed privacy. Technical report, MIT, 2015. `https://www.enigma.co/enigma_full.pdf` [Online; acceduto 27/11/2017].