

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

---

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Corso di Laurea Triennale in Informatica

Tesi di Laurea

BITCOIN  
MONETA ELETTRONICA  
PEER-TO-PEER

./img/uniud\_lite-eps converted to .pdf

Relatore:  
Prof. IVAN SCAGNETTO

Laureando:  
MATTEO PAOLUZZI

---

ANNO ACCADEMICO 2012-2013



Ai miei genitori  
per non avermi tagliato i viveri



---

## Sommario

Verrà descritta la struttura e il funzionamento della rete Bitcoin, un sistema monetario decentralizzato virtuale. Per prima cosa si procederà ad un raffronto tra le altre tipologie di reti P2P e la rete Bitcoin, evidenziandone le differenze e il perché tale rete sfugga ai normali criteri di catalogazione, pur rientrandone sotto alcuni punti di vista ben specifici. Verrà poi analizzata la rete nello specifico, illustrandone scopi, funzionamento, utilizzi e criticità, queste ultime soprattutto a confronto con le altre tipologie di rete nei casi attinenti. Infine verranno trattati in modo informale alcuni temi di carattere socio-economico collegati all'utilizzo di Bitcoin, analizzando brevemente alcune vicende di cronaca che negli ultimi anni hanno avuto tra i protagonisti tale rete.

% %\begin{abstract} %Sommario della tesi in inglese %\end{abstract} %



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Reti P2P . . . . .	1
1.2	Distribuzione dei file in una rete P2P . . . . .	2
1.2.1	Scalabilità ( [11]) . . . . .	3
1.2.2	Ricerca di informazioni . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Bitcoin: moneta elettronica decentralizzata</b>	<b>9</b>
2.1	Moneta Elettronica . . . . .	9
2.2	Portafogli e indirizzi . . . . .	10
2.3	Transazioni . . . . .	11
2.4	Timestamp e Proof-of-Work . . . . .	12
2.5	Network . . . . .	13
2.6	Spazio %FIXME: titolo orribile . . . . .	14
2.7	Gestione dei valori . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Privacy e Sicurezza</b>	<b>17</b>
3.1	Reti P2P in genere . . . . .	17
	<b>Bibliografia</b>	<b>21</b>





# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Reti P2P

Negli ultimi anni si è assistito ad una progressiva alterazione delle “leggi” che regolano il mondo dell’hardware informatico in campo consumer: l’aumento della potenza di calcolo del singolo elaboratore non è più economicamente conveniente. %TODO fonte per legge di moore Per fortuna la soluzione è stata immediata e consiste nello sfruttamento di più elaboratori collegati in rete che condividono (genericamente parlando) risorse. Sebbene per compiti specifici risulta spesso conveniente creare una rete ad-hoc, per l’utilizzo di tutti i giorni da parte dell’utente comune, la rete per eccellenza risulta essere senza ombra di dubbio la rete Internet. A causa di questa sua centralità, è stata scelta come base per lo sviluppo di applicazioni dedicate alla condivisione di risorse di vario tipo da parte di utenti con interessi in comune, creando di fatto una sottorete virtuale all’interno della già virtuale rete internet. %TODO sistemare sta frase scritta da cani

Questa condivisione di risorse da parte di utenti per un interesse comune definisce il nucleo di quelle che vengono chiamate **reti Perr-to-Peer**, da qui in avanti abbreviate come *reti P2P*. Data la grande diffusione di queste reti e i loro svariati obiettivi, è comprensibile che ci siano molti disaccordi sulla definizione esatta di *rete P2P*.

Una classificazione molto adatta agli scopi di questo documento è quella presente in [11] che distingue tre diversi livelli di rete:

1. **Infrastrutture P2P**, il cui scopo è porre le basi per i livelli successivi fornendo funzioni di comunicazione, integrazione e “traduzione” tra le varie componenti della rete. In particolare forniscono servizi che permettono la localizzazione e la comunicazione tra gli utenti (da ora in avanti **peers**) e l’identificazione, l’utilizzo e lo scambio delle risorse, oltre che l’implementazione delle politiche di sicurezza quali autenticazione e autorizzazione.
2. **Applicazioni P2P**, che utilizzano i servizi offerti dal livello di infrastruttura per offrire all’utente (qui inteso come essere umano interagente con la macchina,

---

la quale è il peer vero e proprio) le funzionalità della rete. Sono in pratica le interfacce tra l'infrastruttura e la persona.

3. **Fenomeni sociali** derivanti dall'utilizzo delle applicazioni P2P. Spesso infatti la forte coesione di intenti tra gli utenti di una rete P2P porta alla nascita di comunità virtuali, centri di aggregazione e correnti di pensiero che esulano dalla sfera prettamente informatica.

Come si vedrà più avanti nel corso della trattazione, la rete Bitcoin è caratterizzata da tutti e tre i livelli in modo molto più peculiare di altre reti P2P maggiormente diffuse e famose.

## 1.2 Distribuzione dei file in una rete P2P

La risorsa indubbiamente più abbondante e facilmente condivisibile è lo spazio di archiviazione, per questo le reti P2P in cui vengono condivisi file sono tra le più diffuse e variegate. La loro diffusione è talmente ampia che spesso l'intero concetto di rete P2P viene ridotto a quello di rete P2P per file-sharing, motivo per cui la classificazione delle reti P2P intese in senso generico spesso si fonda sul metodo di condivisione dei file, anche quando questo non è lo scopo della rete.

Indugiando in questa generalizzazione, studieremo un caso tipico: lo scaricamento di un file attraverso il modello classico client-server e alcune reti P2P ad ampia diffusione.

Prima di cominciare è necessario chiarire un concetto che spesso è causa di confusione: il modello P2P non è una alternativa al modello client-server, bensì una sua reimplementazione meno gravosa per il server.

Infatti, se nel modello client-server “puro” i ruoli sono definiti ed immutabili dall'inizio della comunicazione fino al suo completamento, quando si comunica in P2P i ruoli sono relativi al collegamento esistente tra i peer.

Prendiamo il caso in cui il peer **A** voglia ottenere dal peer **B** il file *file.txt*. All'inizio della comunicazione il peer **A** sarà il client e il peer **B** sarà invece il server. Immaginiamo che, mentre questo trasferimento è in atto, un terzo peer **C** voglia avere il file *file.txt*.

Se ci troviamo al di fuori di una rete P2P (ad esempio nel normale download di un file da internet tramite browser), i ruoli di **A** e **B** non subiscono variazioni e il peer **C** assume il ruolo di client del server **B**, il quale dovrà ottimizzare le sue risorse di banda e cpu per servire sia **A** che **C** contemporaneamente. **NOTA:**(da questo discorso esulano tematiche quali il multitasking della cpu: il punto di vista è quello di un ipotetico utente che osserva la macchina in tempo reale).

All'interno di una rete P2P invece, nel momento in cui comincia a scaricare *file.txt*, **C** è consapevole che **B** ne possiede una copia completa e **A** una parziale e, contemporaneamente, **A** verrà informato che **C** sta scaricando lo stesso file. Quello che succede è che **B** farà da server per **A** e **C** (i quali saranno i suoi client), mentre **A** e **C** si scambieranno le parti di *file.txt* che mancano l'uno all'altro (ovvero saranno sia

---

client che server contemporaneamente). Il risultato è una sostanziale ottimizzazione delle risorse a disposizione nella rete e una maggiore velocità di “diffusione” del file.

Il linguaggio sopra adottato è forzatamente generico: ciò deriva dall’ampio numero di reti P2P per il filesharing esistenti, ognuna delle quali implementa a modo suo le casistiche di aggiunta/rimozione (*churn*) di un peer (chiamato solitamente **nodo** nell’ambito del file sharing) dalla rete, la ricerca dei file e il trasferimento dei contenuti, tutti comunque rispettando il procedimento generico sopra descritto.

### 1.2.1 Scalabilità ([11])

Analizziamo la questione da un punto di vista più formale. Avremo bisogno dei seguenti dati.

$u_s$  frequenza di upload verso il server

$u_i$  frequenza di upload dell’ $i$ -esimo peer

$d_i$  frequenza di download dell’ $i$ -esimo peer

$F$  dimensione in bit del file da distribuire

$N$  numero di peer che vuole una copia del file

$D_{cs}$  tempo di distribuzione del file per l’architettura client-server

Per semplificare i conti senza invalidarne l’efficacia, assumiamo che la rete in esame sia priva di “disturbi” e sia dedicata esclusivamente allo scambio di file in esame senza altre comunicazioni passanti su di essa.

#### Caso Client-Server

Osservazioni:

- Il server deve trasmettere il file a  $N$  peer, quindi  $NF$  bit. Data la frequenza di upload  $u_s$ , il tempo per distribuire il file deve essere almeno  $NF/u_s$ .
- sia  $d_{min} = \min\{d_1, d_2, \dots, d_N\}$  la frequenza di download del peer con il valore più basso. Tale peer riceverà il file in almeno  $F/d_{min}$  secondi, che è quindi il tempo minimo di distribuzione.

Da cui

$$D_{cs} \geq \max \left\{ \frac{NF}{u_s}, \frac{F}{d_{min}} \right\}$$

Questo è il limite inferiore al tempo di distribuzione minimo per l’architettura client-server. Trattiamo il caso ottimo e consideriamolo come il tempo di distribuzione effettivo, ovvero:

---


$$D_{cs} = \max \left\{ \frac{NF}{u_s}, \frac{F}{d_{min}} \right\}$$

Da questa ultima espressione si vede come per  $N$  sufficientemente grande, il tempo di distribuzione è dato da  $NF/u_s$ , stabilendo quindi che esso aumenta linearmente all'aumentare del numero  $N$  dei peer.

### Caso P2P

La situazione cambia nel caso di architetture P2P, in cui ciascun peer assiste il server nella distribuzione del file. Dato che bisogna tenere conto di come ogni singolo peer distribuisce le sue porzioni di file, il calcolo risulta molto complesso. Possiamo però ottenere una semplice espressione del tempo minimo di distribuzione. A tale scopo bisogna fare alcune osservazioni:

- All'inizio dell'analisi solo il server possiede il file completo. È quindi necessario inviare ogni singolo bit del file all'interno della rete almeno una volta perché sia trasmesso alla comunità, quindi il minimo tempo di distribuzione è almeno  $F/u_s$ . La prima differenza è già visibile: dato che i peer ridistribuiscono i file, non è necessario che il server invii due volte lo stesso bit.
- Vediamo anche che il peer con la frequenza di download più bassa non può ottenere il file in meno di  $F/d_{min}$  secondi.
- Infine osserviamo come la capacità di upload della rete è quella del server più quella di ciascun peer. Denotando quest'ultimo con  $u_{tot}$  e sapendo che il numero totale di bit da trasferire è  $FN$ , possiamo stabilire che il tempo di distribuzione minimo è almeno  $FN/u_{tot}$ .

Unendo le affermazioni precedenti in una unica formulazione otteniamo il tempo minimo di distribuzione per una rete P2P:

$$D_{P2P} \geq \max \left\{ \frac{F}{u_s}, \frac{F}{d_{min}}, \frac{NF}{u_s + \sum_{i=1}^N u_i} \right\}$$

### Confronto

Per un confronto diretto tra le due architetture, poniamo  $F/u = 1$  ora,  $u_s = 10u$  e  $d_{min} \geq u_s$ , ovvero abbiamo posto che un peer può trasmettere l'intero file in un'ora, la frequenza di trasmissione del server è 10 volte quella del peer e (per semplificare) le frequenze di trasmissione dei peer sono grandi abbastanza da essere irrilevanti. Otteniamo la seguente figura.

%TODO grafico pag 134 kurose-ross

Si nota subito che per l'architettura client-server il tempo di distribuzione risulta essere lineare come calcolato, ma ancora più notevole è il tempo di distribuzione

---

per l'architettura P2P che non solo è sempre minore della controparte client-server, ma addirittura risulta quasi costante all'aumentare del numero dei peer. Questo dimostra come le reti P2P siano estremamente scalabili, e non c'è da stupirsi come il successo di una particolare rete dipenda essenzialmente dal numero di peer presenti. %FIXME: questa è detta molto male.

### 1.2.2 Ricerca di informazioni

Si è parlato all'inizio della sezione di come i peer siano consapevoli di cosa altri peer stanno scaricando. Questo sottintende che esiste un sistema all'interno della rete per stabilire quanti peer sono connessi e cosa stanno condividendo e/o scaricando. Ciò significa che tale meccanismo si deve attivare ogniqualvolta un peer si (dis)connette (d)alla rete e un file viene rimosso/aggiunto. L'operazione di aggiunta/rimozione dinamica di un peer/file prende il nome di **churn**. Vediamo quindi come è possibile ricercare informazioni all'interno di una rete P2P quindi, nello specifico del file-sharing, vediamo come sia possibile per un peer sapere quali file sono a disposizione presso quali altri peer.

#### Directory centralizzata

La prima, grande applicazione P2P commercializzata (*Napster*) faceva uso di un indice centralizzato localizzato su un potente server centrale. Quando un utente si collegava alla rete, l'applicazione Napster informava tale server dell'indirizzo IP della macchina e del nome dei file che l'utente ha scelto di condividere con la rete. Il server raccoglie quindi queste informazioni da tutti i peer collegati e aggiorna il proprio indice collegato ciascun nome di file agli indirizzi IP dei peer che in quel momento lo stanno condividendo. Ovviamente alla disconnessione di un peer l'indice sarà aggiornato di conseguenza.

Si noti come questa sia di fatto un'architettura ibrida: client-server nella ricerca dei contenuti, P2P nel trasferimento degli stessi.

La semplicità di questo metodo nasconde però alcuni gravi difetti. Il server dell'indice si trova infatti ad essere l'anello debole della rete: un suo guasto ha come conseguenza il crollo dell'intera rete, impedendo di fatto le ricerche. Inoltre tale server deve potenzialmente gestire milioni di utenti contemporaneamente (in quanto si è visto che la potenza delle reti P2P sta nel numero di peer) e quindi risulta essere estremamente costoso da installare e mantenere, oltre a rappresentare un potenziale collo di bottiglia per l'intera rete (Napster era infatti nota per i gravi problemi di traffico da cui era afflitta).

Esiste inoltre un terzo problema non strettamente tecnico ma fondamentale per l'argomento di questo documento: **la privacy dell'utente**. Con un indice centrale che associa un file ad una serie di IP, è facile per chiunque vedere chi possiede cosa, soprattutto nel caso in cui i file condivisi rappresentino una violazione del diritto d'autore. Pur essendo il caricamento dei file una responsabilità dei singoli utenti e non di chi fornisce il servizio, molte legislazioni internazionali possiedono leggi per la

---

tutela del copyright che possono costringere il proprietario del server ad interrompere il servizio, bloccando così l'intera rete, anche quei peer che condividevano materiale lecito. Questo controllo a volte molto invasivo (se non dannoso) da parte di terze parti non coinvolte nella rete è uno dei motivi che ha portato alla nascita di reti sempre più decentralizzate, come appunto la rete Bitcoin.

## Query flooding

Rimanendo nell'ambito della ricerca di informazioni per file-sharing, la soluzione diametralmente opposta alla precedente risiede nell'approccio completamente distribuito del query flooding, implementato originariamente dal protocollo **Gnutella**. Questo approccio prevede che l'indice sia distribuito all'interno della comunità, in particolare ogni peer indicizza solamente quello che intende condividere con gli altri peer.

Nel query flooding viene quindi a formarsi una rete astratta e virtuale che collega i vari peer, una rete di copertura (*overlay network*) in cui i collegamenti tra i nodi non sono di tipo fisico. %fixme: questo è vero anche per napster in effetti.. devo chiarire meglio o rimuovere

Il protocollo Gnutella prevede che ogni peer sia collegato al massimo a dieci altri nodi dell'overlay network, nodi che vengono denominati *vicinato*. Se un peer vuole cercare un file, invia messaggi di ricerca ai suoi vicini, i quali instradano tali messaggi ai loro vicini che ripetono l'operazione e così via. Questo è il processo del *query flooding* in cui la rete viene "sommersa" (*flood*) di richieste (*query*). Quando un peer riceve una query, controlla se nel suo indice è presente una qualche corrispondenza e, in caso affermativo, invia al peer che ha effettuato la richiesta un messaggio di successo (*query-hit*) contenente il nome del file e la dimensione. Dopo qualche tempo il peer di origine avrà un elenco di peer che condividono file corrispondenti alla sua richiesta.

Ma anche in questo approccio, la semplicità nasconde alcune problematiche. La più grave riguarda le richieste, che vengono propagate all'intera rete di copertura generando una enorme quantità di traffico nella rete sottostante (nel caso di Gnutella, Internet) che connette i peer. Come soluzione a tale problema si è inserito nei messaggi di ricerca di Gnutella un campo *time-to-live*, il quale viene decrementato da ogni peer prima di reinoltrare la richiesta: quando il campo arriva a 0 la richiesta non viene più inoltrata, limitando quindi il raggio di azione della query. Tuttavia in questo modo si riduce anche il numero di peer contattati e la probabilità di ricevere una query-hit.

Esiste inoltre una difficoltà intrinseca alle reti P2P che Napster aveva avitato: il churm. Il protocollo Gnutella tenta di risolvere il problema in questo modo:

1. Per prima cosa, un peer, chiamiamolo X, che vuole connettersi alla rete deve conoscere almeno un altro peer che è già connesso alla rete (**problema del bootstrap**). I due approcci più comuni consistono nel mantenere in ogni peer una lista di client noti a cui tentare di connettersi e/o, in mancanza di

---

connessione a tali nodi, nello scaricare una lista di nodi attualmente online da un sito *tracker*.

2. Dopo aver ottenuto i nodi di bootstrap, X deve tentare di connettersi ad ognuno di questi nodi, fino a riuscirci con uno che chiameremo Y.
3. Dopo la connessione, X invia ad Y un messaggio di *ping* contenente un campo contatore di peer. Y inoltra tale messaggio a tutte i nodi nella sua rete di copertura, i quali continuano l'inoltro fino a quando il contatore non si azzerà.
4. Ogni volta che un peer Z riceve il *ping*, risponde inviando un messaggio *pong* contenente il proprio IP attraverso la rete di copertura fino ad X.
5. Grazie ai messaggi *pong*, X viene a conoscenza di moltri altri peer online (quanti dipende dal contatore impostato nel messaggio *ping*) e può tentare di connettersi ad essi per ampliare il suo vicinato.

%TODO: cosa succede alla disconnessione? Problema a pagina 167 kurose-ross

### Copertura gerarchica

Avendo descritto gli approcci diametralmente opposti, vediamo ora la proverbiale via di mezzo, il modello di copertura gerarchica. L'obiettivo è ottenere il meglio dalle due implementazioni sopra descritte, e fu per la prima volta realizzato da FastTrack, un protocollo implementato in Kazaa e Morpheus. Una variante di questo modello è tutt'oggi utilizzata dall'evoluzione di Gnutella, Gnutella2. Come per il query flooding, anche questo è un modello decentralizzato, ma a differenza di tale modello (e a discapito del principio Peer-to-Peer) non tutti i peer sono uguali: come il nome fa suggerire, esiste una gerarchia di peer che assegna a quelli più potenti (leggasi, quelli con più banda) alcune responsabilità in più designandoli come leader per altri peer. Ogni nuovo peer deve stabilire una connessione con un leader a cui notifica tutti i file che intende condividere, creando quindi una sorta di mini indice centralizzato rispettivamente ai peer connessi a quel leader (solitamente nell'ordine del centinaio). A differenza del modello centralizzato però, i leader non sono server dedicati, bensì peer veri e propri in collegamento tra di loro. Il risultato è che i leader sono collegati ad una rete di copertura del tutto simile a quella del modello query flooding, modello utilizzato infatti per l'inoltro delle ricerche. La ricerca di un file da parte di un peer segue quindi due fasi: una richiesta al proprio leader che provvede a consultare il suo indice e una eventuale propagazione della richiesta tramite query flooding da parte del leader agli altri leader. Questa struttura "a strati" permette quindi la connessione di molti peer senza generare una quantità eccessiva di traffico nella rete "ospite".

### DHT (Distributed Hash Table)

%TODO espandere

---

Crea un indice completamente distribuito che fa corrispondere gli identificatori dei file alla loro posizione. Consente agli utenti di determinare tutte le posizione di un file senza generare un'eccessiva quantità di traffico di ricerca. Overnet (Kademlia) sfrutta DHT come anche BitTorrent.



## Capitolo 2

# Bitcoin: moneta elettronica decentralizzata

Tutte le reti P2P finora descritte sono in circolazione da molti anni, hanno una base di utenti che conta milioni di peer divisi tra utenti reali e server automatizzati, contano migliaia di forum di supporto e scambiano quotidianamente una immensa fetta del traffico totale della rete Internet (tanto che molti provider tendono a limitarne quanto più possibile l'utilizzo, soprattutto nelle fasce orarie di maggior traffico). Sono però tutte reti dedicate al file-sharing. Bitcoin no. O almeno, non proprio, come vedremo.

Bitcoin è una rete P2P (intesa per tutti e tre i livelli descritti in precedenza) che mira a creare un sistema di valuta digitale privo di controllo centrale, con pagamenti effettuati direttamente tra gli utenti senza l'intervento di terzi. È stata ideata e realizzata in origine da un anonimo noto con il nome di **Satoshi Nakamoto** [14] e si è in poco tempo evoluta in modo esponenziale fino a catturare di recente l'attenzione dei media internazionali, delle banche mondiali e, per alcuni suoi utilizzi illeciti, da FBI ed NSA. Ma vediamo di cosa si tratta.

### 2.1 Moneta Elettronica

**Bitcoin** è il nome dato alla rete, al client originale, al protocollo di comunicazione e alla moneta utilizzata per le transazioni all'interno della rete.

Le monete (d'ora in avanti **btc**) posso essere ottenute “gratuitamente” dopo aver impegnato la propria CPU o GPU in alcuni calcoli di crittografia (operazione chiamata **mining** e discussa più avanti), oppure acquistate da altri utenti della rete tramite una valuta reale <sup>1</sup>.

Entrambi questi metodi sono fondamentali nell'ecosistema Bitcoin:

- Il mining è una diretta conseguenza della partecipazione di un nodo alla rete (vedi più avanti NETWORK) ed è l'unico metodo con cui vengono create e

---

<sup>1</sup>Ad esempio tramite il sito Internet Mt. Gox [3].

---

messe in circolazione nuove **btc**. Per ogni operazione di mining avvenuta con successo si riceve una quantità fissa di btc che viene dimezzata nel tempo, limitando il numero massimo di bitcoin in circolazione a circa 21 milioni. A Gennaio 2013 è stata generata circa la metà delle monete totali e si stima di arrivare a 3/4 nel 2017. La quota massima di moneta circolante e l'assenza di istituti centrali in grado di creare nuove monete rendono l'economia bitcoin invulnerabile all'inflazione che colpisce le economie reali. Il sistema è ispirato a quella che era l'economia del Dollaro prima della istituzionalizzazione della Federal Reserve come banca federale: il valore del Dollaro era legato al valore corrente dell'oro, il quale esiste in quantità limitata ed è ottenibile solo attraverso il lavoro dei minatori.

- La compravendita di bitcoin è invece simile alle compravendite di azioni effettuate nelle borse di tutto il mondo. Esistono infatti alcuni luoghi dedicati (ad esempio il sito internet *Mt. GOX*) che fungono da stock exchange offrendo agli utenti la possibilità di mettere in vendita o di acquistare bitcoin al prezzo che preferiscono. Sono delle vere e proprie borse che trattano unicamente bitcoin invece che molti titoli di aziende diverse, calcolano un valore di scambio medio basato sulle ultime transazioni portate a termine ma lasciano libero l'utente di scegliere a quanto vendere o comprare bitcoin, con prezzo medio che si adegua di conseguenza. %FIXME: sistemare sta roba %TODO: verificare se rapporto bitcoin/euro e bitcoin/dollaro sono legati alle transazioni in quella valuta (come credo che sia)

Come per le monete in valuta reale e le azioni borsistiche, anche le bitcoin vengono “tenute” in portafogli. Come vedremo, il termine *tenute* è usato impropriamente, ma questa è l'apparenza dal punto di vista dell'utente, per cui a tale apparenza al momento ci atterremo.

## 2.2 Portafogli e indirizzi

La prima volta che un nuovo utente avvia il suo client Bitcoin fresco di installazione, si vede assegnato un portafoglio contenente un indirizzo e una copia di chiavi di cifratura simmetrica. L'indirizzo è semplicemente una stringa di 33 caratteri alfanumerici che inizia con un 1 o con un 3, generata in modo casuale dalle chiavi create per l'utente. Gli indirizzi rappresentano il punto di uscita e/o il punto di ingresso per tutti i movimenti che coinvolgono bitcoin. Questo significa che nelle transazioni bitcoin compariranno unicamente questi indirizzi, rendendo di fatto **anonimi** tutti i movimenti di bitcoin (meno quelli che riguardano l'acquisto di bitcoin tramite moneta reale), in un modo del tutto equivalente a quello dei conti in Svizzera. Non esiste quindi nessuna correlazione diretta e ovvia tra un utente e il suo indirizzo. Essendo le chiavi associate al portafogli, e gli indirizzi generati dalle chiavi, viene di conseguenza pensare (giustamente) che un portafogli possa contenere più indirizzi:

---

basta infatti usare le chiavi per generare un nuovo indirizzo e il gioco è fatto. Il numero di indirizzi esistenti è virtualmente infinito.

I portafogli sono solitamente legati al software che li crea, basta quindi cambiare software per poter creare un nuovo portafogli e una nuova coppia di chiavi (oppure installare un software in grado di gestire più portafogli). In alternativa è possibile “aprire un conto” presso numeri siti che offrono questa funzionalità, quale ad esempio blockchain.info. In questo caso però bisogna fare i conti con la sicurezza del sito in questione %TODO: link alla sezione sicurezza

## 2.3 Transazioni

Le transazioni rappresentano il nucleo fondamentale di bitcoin. Esse sono il metodo con cui ci si assicura che un indirizzo contenga esattamente quel numero di bitcoin, che una bitcoin non venga spesa più volte e che quella bitcoin appartiene a quello specifico indirizzo. Le transazioni si basano su meccanismi di crittografia a chiave pubblica, rendendo quindi obsoleto il coinvolgimento di terze parti nella transazione. Se infatti nelle normali compravendite online, volenti o nolenti si è costretti a fidarsi di terze parti che garantiscono per il buon esito dell’operazione (istituti di credito, compagnie di carte di credito, siti come Paypal, ecc), qui gli utenti hanno direttamente la prova crittografica senza aver quindi necessita di fidarsi di qualcuno.

Satoshi Nakamoto descrive la sua moneta elettronica come una serie di firme digitali. Il trasferimento di moneta da un utente all’altro avviene infatti applicando la firma digitale dell’acquirente ad un hash di una precedente transazione e della chiave pubblica del venditore, e aggiungendo ciò alla fine della moneta.

Riassumendo schematicamente:

```
hash = hash(previous_transaction, vendor_public_key)
transaction = sign(hash, private_key)
```

La moneta diventa quindi non una unità atomica, ma il risultato di una serie di transazioni che coinvolgono firme digitali e verifiche che deve essere calcolato dinamicamente. La serie di tutte le transazioni mai effettuate viene raccolta in una sequenza denominata **blockchain** %TODO: verificare termine blockchain

%TODO: immagine pag 2 in alto di Nakamoto

Questa implementazione però non garantisce che l’acquirente non abbia già effettuato una transazione con questa moneta, ovvero che stia spendendo una moneta già spesa in precedenza.

L’unico modo per garantire ciò senza utilizzare una terza parte di cui fidarsi, è tenere conto di **tutte** le transazioni. Questo vuol dire che tutte le transazioni devono essere annunciate ad un pubblico in grado di mettersi d’accordo sull’effettivo ordine temporale in cui sono state effettuate. Il venditore deve avere quindi la prova che, nel momento in cui riceve la transazione, la maggioranza dei nodi è d’accordo che quella è la prima transazione ricevuta.i

---

## 2.4 Timestamp e Proof-of-Work

La soluzione consiste nell'utilizzo di un **timestamp server**. Un timestamp server funziona calcolando l'hash di un blocco di oggetti di cui si vuole realizzare il timestamp e rendendo tale hash pubblico. Il timestamp dimostra inequivocabilmente che gli oggetti esistevano al momento dell'hashing. Ogni timestamp include anche il precedente timestamp nell'hash, formando quindi una catena in cui ogni timestamp rinforza <sup>2</sup> quelli precedenti.

%TODO: grafico dei timestamp a pag 2 di Nakamoto

Ora il problema consiste nell'implementare questo server di timestamp in modo distribuito, come è appunto la rete Bitcoin. Per prima cosa bisogna trovare un sistema per cui effettuare il timestamp è un'operazione difficoltosa (computazionalmente parlando), ma verificare che il timestamp sia corretto deve essere immediato. Basandosi sul lavoro di Adam Back ([6]), Nakamoto ha deciso che la difficoltà dell'operazione deve essere trovare un valore che, una volta sottoposto ad hashing (ad esempio con SHA-256), il risultato sia un hash che comincia con uno specifico numero di bit pari a zero: la difficoltà del lavoro è esponenziale al numero di bit zero richiesti, ma è facilmente verificabile con un singolo hash. L'implementazione per bitcoin consiste quindi nella creazione di un blocco di dati di cui calcolare l'hash che contiene le transazioni interessate, l'hash precedente e un valore chiamato **nonce** da incrementare fino a quando l'hash non avrà le caratteristiche richieste. Modificare una transazione comporta modificare un blocco, e quindi ripetere tutto il lavoro di calcolo della nonce. Inoltre, se a questo blocco è già stato incatenato uno più blocchi successivi, anche tali blocchi andranno ricalcolati in sequenza, rendendo il lavoro estremamente gravoso.

%TODO: immagine sequenza di blocchi pag 3 nakamoto

Con la prova di lavoro si risolve anche il problema di cosa significa che la maggioranza deve accettare un timestamp. Con l'hash infatti si realizza una sorta di sistema one-CPU-one-vote, e la "decisione della maggioranza" è rappresentata dalla più lunga sequenza di timestamp, che è la sequenza per la quale è stata impiegata la maggior parte di lavoro computazionale. Ciò significa che se la maggior parte della forza-CPU è controllata da peer onesti (cioè che non hanno nessuna intenzione di modificare una transazione effettuata), un nodo disonesto che volesse modificare una transazione non solo dovrebbe rifare tutti i calcoli per il blocco della transazione e per tutti i blocchi successivi, ma avendo minor potenza di CPU a disposizione rispetto ai nodi onesti, verrebbe rapidamente soverchiato dal numero di calcoli da fare, in quando il numero di blocchi da ricalcolare sarebbe sempre superiori a quelli da lui già ricalcolati.

Si capisce subito che è nella rete bitcoin (e nelle reti P2P in generale) è importante che le risorse (potenza di calcolo in questo caso) siano equamente distribuite tra i peer, in modo da evitare che un solo nodo o un solo gruppo di nodi controlli l'intera rete.

---

<sup>2</sup>leggasi: rende più difficili da modificare.

---

Per far fronte alle differenti configurazioni hardware degli utenti, alla sempre crescente capacità di calcolo di CPU e GPU e anche ai potenzialmente mutevoli interessi dei nodi, la difficoltà della prova di lavoro (ovvero il numero di bit zero) è determinata da una media calcolata sul numero medio di blocchi generati ogni ora. Se vengono generati troppi blocchi, vuol dire che la difficoltà è troppo bassa e viene subito aumentata.

## 2.5 Network

A questo punto abbiamo una prima approssimazione di come funziona la rete bitcoin:

1. Le nuove transazioni sono inviate a tutti i nodi.
2. Ogni nodo raccoglie le transazioni che riceve in un blocco.
3. Per ogni blocco, ogni nodo cerca di calcolare una proof-of-work.
4. Una volta trovata la prova, invia il blocco a tutti i nodi.
5. I nodi accettano il nuovo blocco se e solo se tutte le transazioni in esso sono valide (si verifica calcolando l'hash delle transazioni e confrontandole con l'ultimo blocco accettato) e non già spese in precedenza.
6. Il nodo esprime la sua accettazione del blocco appena arrivato mettendosi al lavoro per crearne uno nuovo, usando l'hash del nodo accettato.

I nodi considerano la catena più lunga quella corretta e lavoreranno sempre in modo da prolungarla. Esiste la possibilità che uno stesso nodo riceva due versioni diverse dello stesso blocco in contemporanea. In questo caso, lavoreranno sul primo blocco ricevuto, ma manterranno una copia anche dell'altro nel caso in cui si rivelasse appartenente alla catena più lunga. La verifica viene fatta non appena viene trovata la nuova proof-of-work e una delle due catene si allunga: a questo punto si individua il blocco da mantenere in base all'hash contenuto nel blocco appena arrivato, gli altri blocchi vengono scartati e si continua il procedimento.

Quando si inviano in broadcast le nuove transazioni, non è necessario che esse raggiungano tutti i nodi: fintanto che raggiungono quanti più nodi possibile, verranno velocemente inglobate in un blocco. I blocchi invece devono essere ricevuti da tutti i nodi, per questo se un nodo riceve un blocco e si accorge (tramite hash) che il blocco precedente gli manca, ne richiederà immediatamente una copia ad un altro nodo, e ripeterà la verifica fino ad ottenere la catena integrale.

Per convenzione, la prima transazione di un blocco è una transazione speciale che crea una nuova moneta e la assegna al creatore del blocco. In pratica il primo nodo che riesce a trovare la proof-work di un nuovo blocco riceve un premio in bitcoin. Tale premio serve ad incentivare i nodi a mantenere attiva la rete ed inoltre permette la messa in circolazione di nuove monete, senza che sia necessaria una zecca centrale. Questo profitto derivante dal calcolo della proof-of-work viene denominato **mining** e ha spinto molti utenti ad acquistare hardware dedicato sempre più performante in

---

modo da creare per primi il nuovo blocco e ottenere il relativo premio, inizialmente ammontante a 50btc ma ora dimezzato a 25btc). %TODO: collegamento al mining

Visto che il numero massimo di btc è stato determinato a priori ed è invariabile, per incentivare i nodi anche quando il mining risulterà inutile, sono state introdotte delle vere e proprie tasse di transazione, le **transaction fees**. Una transaction fee non ha un valore fisso, ma viene decisa da chi effettua la transazione e può anche essere nulla: viene registrata come una differenza tra il valore di input e il valore di output della transazione, con quest'ultimo valore inferiore del primo (come in una tassa, l'acquirente spende più dell'importo effettivo). Tale differenza verrà trasferita nella transazione dedicata all'incentivo al momento della creazione del nuovo blocco, sempre ammesso che l'utente che ha creato il blocco voglia ricevere queste btc.

Oltre ad invogliare un nodo a rimanere attivo, gli incentivi incoraggiano i nodi a rimanere onesti: infatti se un attaccante avido riuscisse ad accumulare abbastanza potenza di calcolo da surclassare quella di tutti gli altri nodi, potrebbe scegliere se truffare gli altri nodi ritirando i suoi pagamenti precedenti oppure usarla per accumulare nuove monete con gli incentivi. Un attaccante si vede quindi incoraggiato a mettere la sua potenza di calcolo a favore del sistema facendogli guadagnare più btc di tutti gli altri nodi messi insieme, invece di usare la stessa potenza per minare le basi dello stesso sistema in cui egli stessi investe i propri soldi.

## 2.6 Spazio %FIXME: titolo orribile

Il sito Blockchain.info [2] offre vari servizi agli utenti bitcoin, tra i quali spiccano un portafogli online, un sistema di navigazione dell'intera catena dei blocchi e dettagliate statistiche sull'intera rete. Da tale sito si vede come in media, in 24 ore vengono effettuate 56700 transazioni archiviate in 220 blocchi, il che vuol dire un blocco ogni 6.55 minuti. Se ogni nodo dovesse mantenere ogni singola transazione, lo spazio di memoria occupato renderebbe la rete bitcoin non così appetibile per l'utente medio. Risulta necessario minimizzare la quantità di memoria necessaria a mantenere la blockchain senza compromettere la sicurezza.

Si è detto infatti che l'hash di un blocco viene calcolato a partire dall'hash del blocco precedente, da una nonce e dalle transazioni contenute nel blocco. Ma invece che memorizzare le intere transazioni, esse vengono inserite come foglie di un albero di Merkle [12], una struttura dati in cui ogni nodo non foglia è l'hash di tutti i suoi figli, in modo che nella radice di tale albero ci sia un solo hash che riassume in se tutte le transazioni. È pertanto possibile calcolare l'hash di un blocco basandosi unicamente sull'hash del blocco precedente, sulla nonce e sulla radice dell'albero di Merkle, ovvero sull'hash riassuntivo delle transazioni, rendendo quindi possibile eliminare alcune transazioni dalla blockchain per risparmiare un poco di spazio.

%FIXME: grafico pag 4 satoshi

Con questa struttura, il **block header** viene ad occupare esattamente 80 Bytes (vedi sezione tecnica per i dettagli %TODO: sezione tecnica), il che significa circa 6.2 MB all'anno (Satoshi Nakamoto con una stima di un blocco ogni 10 minuti aveva

---

previsto 4.2 MB annui). Una quantità decisamente ridotta che rende la blockchain tollerabile su ogni computer degli ultimi 7 anni.

È possibile quindi verificare i pagamenti senza disporre di un nodo personale. L'utente deve possedere una copia degli header della catena più lunga (che può ottenere dai nodi della rete) e ottenere il ramo di Merkle che collega la transazione al blocco in cui è stata inserita. Non può verificare la transazione da solo calcolando gli hash (non ha le altre foglie dell'albero di Merkle), ma collegandola ad un punto specifico della catena può vedere che un nodo l'ha accettata, ed eventuali blocchi successivi confermano che anche l'intera rete l'ha accettata.

%TODO: grafico alto pag 5 satoshi

Così come è descritta, la verifica è affidabile fin tanto che la rete è controllata da nodi onesti, ma è vulnerabile se la rete è soverchiata da un attaccante. Mentre un nodo può effettuare le verifiche da se, il metodo semplificato è vulnerabile alle transazioni ad-hoc create da un attaccante che controlla la rete. Una strategia di difesa consiste nell'accettare avvisi dai nodi della rete quando questi rilevano blocchi non validi, richiedendo all'utente di scaricare l'intero blocco. Per questo motivo chi utilizza bitcoin per business ritiene preferibile avere un nodo personale con intera blockchain, in modo da poter effettuare verifiche autonomamente e velocemente. %FIXME: questo paragrafo è scritto male

Da questo si può dedurre un fatto importante che distingue la rete bitcoin dalle altre reti P2P: si può partecipare alla rete anche senza il relativo software (in questo senso, si partecipa al livello comunitario della rete): non serve essere un nodo, basta essere un utente.

## 2.7 Gestione dei valori

Anche se è possibile trattare le monete una ad una, è improponibile fare una transazione per ogni singolo centesimo. Per la divisione degli importi, le transazioni contengono molteplici input e output. In una transazione normale si avranno o un singolo input proveniente da una grande transazione precedente oppure più input provenienti da più transazioni piccole precedenti, e al massimo due output: uno per il pagamento vero e proprio e uno per restituire il resto, se presente, al mittente.

Chiarimo meglio il concetto:

- Un input è un riferimento ad un output di una precedente transazione che contiene l'indirizzo di chi sta effettuando la transazione. Se ci sono più input, l'importo degli output da loro referenziati viene sommato ed il totale è il massimo valore utilizzabile dall'output.
- Un output contiene l'indirizzo del destinatario e il valore da spedire. Dato che, in una futura transazione, un output può essere referenziato da un solo input, potrebbe verificarsi il caso in cui l'input sia maggiore dell'output e della transaction fee desiderata. In questo caso è necessario creare due output, uno con il valore da spedire e l'indirizzo del destinatario, l'altro con la differenza da

---

restituire al mittente, il **resto**. La differenza tra il totale degli input e il totale degli output è la transaction fee.

Nonostante la stretta dipendenza tra le varie transazioni, non è necessario estrarre l'intero background di ogni input, in quanto la transazione verrà accettata solo se il blocco che contiene le transazioni con gli output referenziati dagli input è stato accettato dalla rete.

Dato il valore elevato di una singola btc (che può variare da poche decine a migliaia di dollari) e le difficoltà inerenti nel trattare numeri in virgola mobile su un computer, l'unità di misura base della transazione non è il btc ma il Satoshi <sup>3</sup>, e  $1 \text{ BTC} = 100000000 \text{ Satoshi}$ .

Questo sistema del calcolo del valore di una transazione è lo stesso utilizzato dal software che gestisce il portafoglio per calcolare il proprio valore: per ogni indirizzo all'interno del portafoglio, il software scansiona le transazioni presenti nella blockchain che contengono l'indirizzo in esame, somma i valori entranti nell'indirizzo, sottrae quelli uscenti e ricava il valore "contenuto" nell'indirizzo. Usando questo sistema, i possedimenti di un utente sono temporalmente limitati all'ultimo blocco accettato nella catena, e non è quindi possibile spendere moneta ricevuta da una transazione non ancora approvata <sup>4</sup>.

%%%%%%%%%% % La documentazione di Satoshi prevede anche privacy e calcoli statistici sugli attacchi. % Visto che prevedo una sezione apposta per anonimato e sicurezza, ne parlo la e non qua. %

---

<sup>3</sup>dal "nome" dell'inventore di Bitcoin

<sup>4</sup>tecnicamente, nessuna moneta è ricevuta fin tanto che la transazione non è approvata. L'utente non è nemmeno consapevole della transazione a lui destinata fino ad avvenuta approvazione.



## Capitolo 3

# Privacy e Sicurezza

### 3.1 Reti P2P in genere



---



# Bibliografia

- [1] *Bitcoin Wiki*. <https://en.bitcoin.it/wiki/>.
- [2] *BlockChain.info*. <https://www.blockchain.info>.
- [3] *Mt. GOX*. <https://mtgox.org>.
- [4] Androulaki, Elli, Ghassam Karame, Marc Roeschlin, Tobias Scherer e Srdjan Capkun: *Evaluating User Privacy in Bitcoin*. Cryptology ePrint Archive, Report 2012/596, 2012. <http://eprint.iacr.org/2012/596.pdf>.
- [5] Babaioff, Moshe, Shahar Dobzinski, Sigal Oren e Aviv Zohar: *On bitcoin and red balloons*. Nel *Proceedings of the 13th ACM Conference on Electronic Commerce*, EC '12, pagine 56–73, New York, NY, USA, 2012. ACM, ISBN 978-1-4503-1415-2. <http://doi.acm.org/10.1145/2229012.2229022>, Disponibile in download gratuito all'indirizzo <http://arxiv.org/pdf/1111.2626.pdf>.
- [6] Back, Adam: *Hashcash - a denial of service counter-measure*, 2002. <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf>.
- [7] Barber, Simon, Xavier Boyen, Elaine Shi e Ersin Uzun: *Bitter to Better - How to Make Bitcoin a Better Currency*. Nel Keromytis, Angelos D. (curatore): *Financial Cryptography and Data Security*, volume 7397 della serie *Lecture Notes in Computer Science*, pagine 399–414. Springer Berlin Heidelberg, 2012, ISBN 978-3-642-32945-6. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32946-3\\_29](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32946-3_29), Disponibile in download gratuito all'indirizzo <http://www.cs.stanford.edu/~xb/fc12/>.
- [8] Clark, Jeremy e Aleksander Essex: *CommitCoin: Carbon Dating Commitments with Bitcoin*. Nel Keromytis, Angelos D. (curatore): *Financial Cryptography and Data Security*, volume 7397 della serie *Lecture Notes in Computer Science*, pagine 390–398. Springer Berlin Heidelberg, 2012, ISBN 978-3-642-32945-6. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32946-3\\_28](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32946-3_28), Disponibile in download gratuito all'indirizzo <http://eprint.iacr.org/2011/677.pdf>.

- 
- [9] Engle, Marling e Javed I. Khan: *Vulnerabilities of P2P Systems and a Critical Look at their Solution*. Rapporto Tecnico, Kent State University, Networking and Media Communications Research Laboratories, Department of Computer Science, 233 MSB, Kent, OH 44242, November 2006. <http://medianet.kent.edu/technicalreports.html>.
- [10] Kshemkalyani, Ajay D. e Mukesh Singhal: *Peer-to-peer computing and overlay graphs*, capitolo 18. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK, first edizione, 2008.
- [11] Kurose, James F. e Keith W. Ross: *Applicazioni peer-to-peer*, capitolo 2, pagine 131–144. Pearson Education, Addison-Wesley, quarta edizione, 2006.
- [12] Merkle, Ralph C.: *Protocols for Public Key Cryptosystems*. Nel *IEEE Symposium on Security and privacy*, volume 1109, pagine 122–134, April 1980. <http://www.cs.washington.edu/research/projects/poirot3/Oakland/sp/PAPERS/00044729.PDF>.
- [13] Moore, Tyler e Nicola Christian: *Beware the Middleman: Empirical Analysis of Bitcoin-Exchange Risk*. Nel *Proceedings of Financial Cryptography 2013*, April 2013. <http://www.truststc.org/pubs/907.html>, Disponibile in download gratuito all'indirizzo <http://fc13.ifca.ai/proc/1-2.pdf>.
- [14] Nakamoto, Satoshi: *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. [satoshin@gmx.com](mailto:satoshin@gmx.com). [www.bitcoin.org](http://www.bitcoin.org).
- [15] Reid, Fergal e Martin Harrigan: *An Analysis of Anonymity in the Bitcoin System*. Nel Altshuler, Yaniv, Yuval Elovici, Armin B. Cremers, Nadav Aharonny e Alex Pentland (curatori): *Security and Privacy in Social Networks*, pagine 197–223. Springer New York, 2013, ISBN 978-1-4614-4138-0. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-4139-7\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-4139-7_10), Disponibile in download gratuito all'indirizzo <http://arxiv.org/pdf/1107.4524.pdf>.
- [16] Ron, Dorit e Adi Shamir: *Quantitative Analysis of the Full Bitcoin Transaction Graph*. Cryptology ePrint Archive, Report 2012/584, 2012. <http://eprint.iacr.org/2012/584.pdf>.
- [17] Rosenfeld, Meni: *Analysis of Bitcoin Pooled Mining Reward Systems*. CoRR, abs/1112.4980, 2011. Disponibile in download gratuito all'indirizzo <http://arxiv.org/pdf/1112.4980v1.pdf>.
- [18] Schoeder, Detlef, Kai Fischbach e Christian Schmitt: *Core Concepts in Peer-to-Peer Networking*, capitolo 1. Idead Group Inc., 2005.