

Dipartimento di Economia e Finanza  
Cattedra di Teoria e Gestione del Portafoglio

*Exchange-traded fund* nel mercato delle  
criptovalute: una nuova realtà?

Prof. Nicola Borri

---

RELATORE

Prof. Pierpaolo Benigno

---

CORRELATORE

Simone Motta

700111

---

CANDIDATO

Anno Accademico: 2018/2019



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>CAPITOLO 1. Criptovalute: definizione e loro mercato</b>	<b>7</b>
1.1 Premessa	7
1.2 Definizione, caratteristiche e funzionamento di una criptovaluta	8
1.3 La criptovaluta più famosa: Bitcoin	13
1.4 Descrizione delle altre criptovalute rilevanti nel mercato	21
1.5 Mercato delle criptovalute: evoluzione storica dei prezzi e della capitalizzazione	27
<b>CAPITOLO 2. Definizione di un <i>exchange-traded fund</i> e metodologia utilizzata</b>	<b>34</b>
2.1 Il concetto di diversificazione nella teoria di selezione di portafoglio di Markowitz	34
2.2 Definizione di un <i>exchange-traded fund</i>	39
2.3 Costruzione dell'indice del mercato delle criptovalute: il CRIX	41
2.4 Analisi in componenti principali come indice di correlazione tra le criptovalute	51
2.5 Principali misure della performance di uno strumento finanziario: l'indice di Sharpe e l'indice di Sortino	53
2.6 Il modello di selezione di portafoglio di Markowitz	54
2.7 Principali indici di rischio di uno strumento finanziario: il <i>Value at Risk</i> e la <i>Expected Shortfall</i>	57
2.8 Lo <i>spread bid-ask</i> come misura di liquidità di uno strumento finanziario	61
<b>CAPITOLO 3. Descrizione dei dati raccolti ed analisi empirica</b>	<b>63</b>
3.1 Descrizione dei dati raccolti	63
3.2 Analisi empirica	70
3.2.1 <i>Costruzione dell'indice ed analisi storica della sua prestazione</i>	70
3.2.2 <i>Diversificazione in un portafoglio di criptovalute e confronto tra le prestazioni del CRIX e le prestazioni delle principali monete crypto</i>	79
3.2.3 <i>Correlazione tra CRIX e i principali asset di investimento e confronto delle loro prestazioni</i>	83
3.2.4 <i>Livello di liquidità delle criptovalute</i>	91
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>96</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>99</b>
<b>SITOGRAFIA</b>	<b>104</b>

# INTRODUZIONE

Il presente lavoro nasce principalmente per una ragione: ad oggi, non risulterebbe possibile poter allocare parte delle proprie disponibilità economiche in uno strumento finanziario che permetta di delegare le decisioni in merito alla scelta dei beni di investimento ed al peso da attribuire a ciascuno di essi ad un *fund manager*, nel caso in cui si voglia costruire un portafoglio composto da criptovalute, come un *exchange-traded fund*. Tale situazione potrebbe disincentivare un possibile investimento in questo settore emergente oppure rendere il processo che porta a tale investimento poco efficiente, nel caso in cui un ipotetico paniere di monete crypto sia costruito personalmente da un individuo con poche conoscenze in termini di teoria e gestione del portafoglio, o nel caso in cui tale soggetto decida di allocare parte del suo capitale solamente nella valuta crypto più conosciuta ed affermata nel settore, Bitcoin, perdendo così un potenziale vantaggio fornito dalla diversificazione.

Le monete crypto rappresentano un mercato nuovo, esistente da soli dieci anni: infatti, la prima criptovaluta, Bitcoin, viene lanciata nel 2009. Nonostante ciò, le valute crypto hanno avuto un impatto forte nel contesto globale, e da quel momento sono nate sempre più diverse tipologie. Infatti, al 15 settembre 2019 si registrano 2810 diverse monete crypto attestate da *CoinMarketCap.com*<sup>1</sup>. Tali valute sono caratterizzate dal ricorso alla *Blockchain*, la quale, secondo molti esperti, costituisce la vera novità, portata alla luce per la prima volta dal bitcoin, e rivoluzionerà il mondo intero, come fece a suo tempo Internet. Per tale motivo, è stato ritenuto interessante approfondire la conoscenza di questo nuovo *asset*, addentrandosi nelle sue caratteristiche principali e descrivendone il funzionamento.

Inoltre, l'espansione di tale mercato, ed in particolare di Bitcoin, ha portato ad un aumento vertiginoso del suo valore, generando dei guadagni impossibili da ottenere con investimenti effettuati negli *asset* tradizionali per quei pochi individui che decisero di puntare su questo settore emergente sin dai suoi primi anni di esistenza. Inoltre, nonostante la rincorsa all'investimento in Bitcoin ed in generale nel settore delle criptovalute, con conseguente formazione della bolla speculativa negli ultimi mesi del 2017 e sua esplosione nella prima settimana del 2018, tale mercato esiste tuttora, e registra valori relativi la capitalizzazione ed il volume di scambio ancora considerevoli. Di conseguenza, tale settore ha conservato e conserva anche adesso una sua appetibilità che non dovrebbe essere trascurata dalla platea di investitori.

Per queste ragioni sarà presentata qui una analisi di portafoglio su un indice rappresentativo del mercato delle criptovalute, il quale rappresenta il *benchmark* da replicare per un possibile

---

<sup>1</sup> <https://coinmarketcap.com/>

*exchange-traded fund* in questo settore, al fine di verificare se tale indice abbia delle caratteristiche tali per possa essere ritenuta possibile una sua implementazione. L'indice in questione sarà costruito seguendo la stessa metodologia del *CRiptocurrency IndeX* (CRIX), ideato da Trimborn e Härdle<sup>2</sup> e successivamente implementato, e consultabile attualmente sul sito web <https://thecrix.de/>.

In particolare, il primo capitolo sarà dedicato alla criptovaluta, partendo dalla sua definizione per poi elencarne le principali caratteristiche e la tecnologia su cui si basa, ossia la *Blockchain*. Successivamente, si approfondirà Bitcoin, essendo la moneta crypto più importante nel mercato e la prima ad essere creata. In seguito, si esporranno le altre nove monete crypto che, insieme a Bitcoin, costituiscono i dieci beni con la più alta capitalizzazione presenti in questo mercato, fornendone una conoscenza basilare. Infine, saranno analizzati alcuni dati finanziari relativi sia all'intero settore delle criptomonete, sia alle principali dieci valute crypto per capitalizzazione di mercato ad oggi, così da rendere il lettore consapevole dell'ordine di grandezza dei numeri che caratterizzano sia i singoli *asset* che l'intero mercato.

Nel secondo capitolo sarà illustrata la metodologia applicata in questo elaborato. In particolare, si introdurrà la teoria di selezione di portafoglio di Markowitz, per dimostrare l'efficienza in termini di rischio-rendimento di un impiego di capitale in un paniere di criptovalute, anziché nel solo Bitcoin tramite la diversificazione, e per costruire quattro portafogli ciascuno caratterizzato da una diversa strategia di investimento. Poi si descriverà la costruzione dell'indice del mercato delle monete crypto, il quale avrà una modifica mensile della composizione ed una revisione del numero di membri trimestrale. In terzo luogo, sarà descritta l'analisi in componenti principali (PCA), qui utilizzato per avvalorare ulteriormente l'eventuale presenza di correlazioni tra le principali monete crypto. Successivamente, saranno esposti l'indice di Sharpe e l'indice di Sortino, due tra i principali indicatori di performance di uno strumento finanziario, o di un portafoglio di titoli. In seguito, saranno descritte le misure di rischio del *Value at Risk* e della *Expected Shortfall*. Infine, allo scopo di poter misurare il livello di liquidità del mercato delle valute crypto, sarà esposto il differenziale denaro-lettera.

Nel terzo capitolo si descriveranno i dati raccolti per lo studio effettuato, e successivamente sarà effettuata un'analisi empirica applicando quanto esposto nel secondo capitolo, così da poter, almeno in via preliminare, verificare la fattibilità o meno di una istituzione di un ETF in questo

---

<sup>2</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

settore.

Infine, sarà lasciato spazio ai commenti finali ed alle conclusioni, sulla base dei risultati ottenuti nel terzo capitolo di questo elaborato.

# CAPITOLO 1

## Criptovalute: definizione e loro mercato

### 1.1 Premessa

Per poter successivamente discutere in questo elaborato riguardo una eventuale creazione di un *exchange-traded fund* che tenti di replicare un indice finanziario rappresentativo del mercato delle criptovalute, è assolutamente necessario comprendere cosa sono e quali sono gli *asset* finanziari che saranno oggetto di investimento.

Per questo, nel secondo paragrafo è spiegato cosa è una moneta cripto. Si cercherà di elencarne le sue principali caratteristiche. Successivamente, si tenterà di spiegare nella maniera più semplice possibile sia come può essere utilizzato questo tipo di moneta, sia la tecnologia su cui si basa, cercando di evidenziare i tratti comuni di queste valute esistenti sul mercato ad oggi.

Invece, nel terzo paragrafo si approfondirà la criptomoneta più conosciuta e la prima ad essere creata: Bitcoin. Qui saranno espone le sue principali caratteristiche. Si descriverà la sua creazione e la sua principale novità, ossia l'eliminazione del problema della doppia spesa congiuntamente all'assenza di una terza parte garante delle transazioni all'interno del sistema. Successivamente, sarà presentato il suo funzionamento. Poi, saranno elencate le possibili modalità di acquisizione da parte di un utente interessato. Infine, saranno illustrate le principali tipologie di portafogli nei quali poter conservare ed utilizzare per mezzo di essi le proprie monete bitcoin.

Nel quarto paragrafo saranno espone le altre nove monete cripto che, insieme a Bitcoin, costituiscono attualmente le dieci criptovalute con la più alta capitalizzazione presenti nel mercato. Lo scopo sarà fornire una conoscenza di base sui principali *asset* appartenenti al settore, poiché è obiettivo di questo elaborato provare ad analizzare uno strumento finanziario che permetta di investire in questo mercato, quindi in un paniere di valute e non solamente in una singola moneta, senza che un potenziale investitore debba preoccuparsi di selezionare le tipologie di valute e decidere quanto acquistare per ciascuna monete scelta. Poiché solitamente un indice finanziario rappresentativo di un settore è composto da più di dieci beni, questo paragrafo non avrà la pretesa di essere esaustivo. Invece, cercherà di sottolineare, anche se in maniera sommaria, sia le similitudini che le differenze esistenti tra le principali monete che compongono il mercato, e non limitare il lettore alla sola conoscenza della valuta cripto più conosciuta.

Nel quinto ed ultimo paragrafo di questo capitolo, saranno elencati ed analizzati alcuni dati finanziari relativi sia al settore delle criptomonete nella sua interezza, sia alle principali dieci valute cripto per capitalizzazione di mercato ad oggi. In particolare, sarà osservata l'evoluzione storica della capitalizzazione di mercato nel settore delle criptovalute, paragonata a quella di Bitcoin. In

secondo luogo, sarà esaminata l'evoluzione storica del contributo delle principali monete cripto alla capitalizzazione di mercato dell'intero settore. Successivamente, sarà riportata una tabella riepilogativa dei dati finanziari di interesse relative le dieci criptovalute con la più alta capitalizzazione di mercato, concentrandosi, oltre che sulla loro capitalizzazione e sul loro contributo alla capitalizzazione dell'intero settore, sui loro prezzi di chiusura corretti e sui loro volumi giornalieri.

Infine, sarà analizzata l'evoluzione storica dei prezzi delle principali monete cripto.

## 1.2 Definizione, caratteristiche e funzionamento di una criptovaluta

Le nuove tecnologie, favorite dal miglioramento della crittografia - ovvero dell'applicazione di metodi che servono per rendere un messaggio comprensibile solo a persone autorizzate a leggerlo - e dalle evoluzioni della rete Internet, stanno cambiando radicalmente l'economia globale, in particolare il settore finanziario sotto il profilo delle modalità di scambio di beni, servizi e ogni attività finanziaria.

Tra le più significative applicazioni della tecnologia digitale al settore finanziario vi è la nascita e la diffusione delle criptovalute.

Il termine si compone di due parole: cripto e valuta. Si tratta quindi di una valuta "nascosta", nel senso che è utilizzabile solo conoscendo un determinato codice informatico (le c.d. "chiavi di accesso" pubblica e privata, in linguaggio tecnico).

La criptomoneta non esiste in forma fisica, ma si genera e si scambia esclusivamente per via telematica. Quindi, questo tipo di moneta non si trova in circolazione in formato cartaceo o metallico<sup>3</sup>. È quindi un bene digitale costruito per operare come mezzo di scambio, basato sulla tecnologia della crittografia. Essa protegge il flusso delle transazioni effettuate mediante la moneta cripto e consente di controllare la creazione di valute aggiuntive<sup>4</sup>.

Una criptovaluta, a differenza di una valuta materiale, non è emessa da una banca centrale. Così, essa è teoricamente immune da interferenze o manipolazioni ad opera di esse<sup>5</sup>. Tutte le monete cripto esistenti sono state create da individui privati, organizzazioni o aziende<sup>6</sup>.

In concreto, una criptomoneta è espressa come una stringa di *bit*. Il suo trasferimento da una persona ad una altra, per esempio nel caso di un cliente che acquista un bene da un venditore che

---

<sup>3</sup> <https://www.consob.it/web/investor-education/criptovalute>

<sup>4</sup> Chohan, U. W. (2017). Cryptocurrencies: A brief thematic review.

<sup>5</sup> <https://www.investopedia.com/terms/c/cryptocurrency.asp>

<sup>6</sup> White, L. H. (2015). The market for cryptocurrencies. *Cato J.*, 35, 383.



accetta come sistema di pagamento una determinata moneta cripto, avviene mediante messaggio, il quale viene ricevuto da una rete informatica nella quale fanno parte tutti i soggetti che utilizzano una determinata criptovaluta<sup>7</sup>. Infatti, in quanto non emessa da alcuna banca centrale, la moneta cripto è trasferita tra utenti mediante un sistema decentralizzato di consenso, che fa ricorso ad una rete di computer *peer-to-peer*<sup>8</sup>. Tuttavia, questa transazione, inserita in un blocco insieme ad altre transazioni in attesa di essere confermate, necessita di essere inclusa in una *Blockchain* al fine di essere ritenuta valida.

La *Blockchain* è un libro mastro pubblico e condiviso sulla rete di computer appartenenti a tutti coloro che utilizzano una determinata criptovaluta nel quale sono registrate tutte le transazioni effettuate per mezzo di questa moneta, in ordine cronologico. Ogni transazione presente nel libro mastro pubblico è verificata attraverso il consenso dato dalla maggioranza dei partecipanti al sistema di una determinata valuta cripto. Una volta che la transazione è confermata ed inserita all'interno della *Blockchain*, essa non può essere eliminata da tale registro<sup>9</sup>. Essa può essere immaginata come una catena di blocchi, dove al loro interno sono registrate tutte le transazioni effettuate ritenute valide. Il blocco più recente è la versione più aggiornata di questo libro mastro. Infatti, nel caso in cui sia creato un nuovo blocco, quest'ultimo deve includere sia le nuove transazioni che tutte le transazioni effettuate prima della modifica<sup>10</sup>. Le transazioni sono confermate dai partecipanti alla rete. Concretamente, questo processo comporta la risoluzione di complessi problemi matematici ad opera degli utenti utilizzando le funzioni *hash* crittografiche sul nuovo blocco contenente i dati della transazione da confermare. I partecipanti competono intensamente l'uno con l'altro per risolvere il problema matematico necessario per autorizzare le nuove operazioni tra due controparti, e la competizione è maggiore se il valore della criptomoneta è molto alto. Dal momento che è necessario eseguire molti calcoli complessi nel più breve tempo possibile per ottenere la ricompensa prevista per questa attività, le componenti hardware possedute dai minatori, come computer e chip elettronici, sono utilizzate dai partecipanti per essere più veloci degli altri ed inviare la soluzione il prima possibile. Il primo utente che riesce a trovare la soluzione necessaria al puzzle matematico è in grado di autorizzare le transazioni, e rende possibile

---

<sup>7</sup> Aste, T. (2016). The Fair Cost of Bitcoin Proof of Work. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2801048>

<sup>8</sup> Glaser, F. and Bezenberger, L. (2015). Beyond Cryptocurrencies - A Taxonomy of Decentralized Consensus Systems. *23rd European Conference on Information Systems (ECIS), Münster, Germany, 2015. Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2605803>

<sup>9</sup> Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2(6-10), 71.

<sup>10</sup> Houy, N. (2014). It Will Cost You Nothing to 'Kill' a Proof-of-Stake Crypto-Currency. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2393940>

l'aggiunta di tale blocco alla *Blockchain*. Infatti, lo stesso nome del libro mastro suggerisce una struttura del registro delle transazioni come una catena di blocchi, dove al loro interno vi sono le transazioni confermate<sup>11</sup>.

Per accrescere la partecipazione dei vari utenti alla conferma di una transazione, essi possono decidere di pagare una commissione di transazione al primo utente che risolve il problema matematico<sup>12</sup>.

Nell'espone il processo finalizzato alla registrazione di una transazione avvenuta per mezzo di una criptovaluta, si è menzionato il ricorso da parte dei partecipanti alle funzioni *hash* crittografiche. Esse sono un tipo particolare di funzioni *hash*, e sono delle funzioni matematiche utilizzate nella crittografia. Le funzioni *hash* semplici accettano degli input di lunghezza variabile, come le informazioni riguardo le parti contraenti la transazione, l'ammontare di denaro trasferito, la data e l'ora dell'operazione, per generare degli output di lunghezza fissa, quest'ultimi chiamati anche *hash value*. Invece, una funzione *hash* crittografica combina quanto detto nella frase precedente con delle proprietà tali da rendere sicuro ed inalterabile l'operatività della funzione, rendendo così difficile rilevare il contenuto di un messaggio o le informazioni relative i destinatari ed i mittenti della negoziazione.

In particolare, delle funzioni *hash* crittografiche efficaci hanno le seguenti cinque proprietà:

- 1) Due input, inseriti nella funzione *hash*, non possono generare lo stesso *hash value*.
- 2) È difficile indovinare il valore di un input partendo dal suo corrispondente *hash value*.
- 3) È difficile selezionare un input che fornisca un output predefinito. Pertanto, l'input deve essere selezionato da una distribuzione che deve essere la più ampia possibile<sup>13</sup>.
- 4) L'output deve avere la stessa lunghezza a prescindere dalla lunghezza dell'input immesso nella funzione *hash*.
- 5) Un piccolo cambiamento nell'input deve generare attraverso la funzione *hash* un output completamente differente<sup>14</sup>.

A seconda di come è strutturata la rete dei minatori di una specifica moneta cripto, i dispositivi hardware impiegati per effettuare il mining possono consistere in processori (CPU), in unità di

---

<sup>11</sup> <https://www.investopedia.com/terms/m/mining.asp>

<sup>12</sup> Harwick, C. (2016). Cryptocurrency and the Problem of Intermediation. *The Independent Review*, 20(4), 569-588. *Disponibile su JSTOR*: <http://www.jstor.org/stable/44000162>

<sup>13</sup> <https://www.investopedia.com/news/cryptographic-hash-functions/>

<sup>14</sup> Pacia, C. (2013). Bitcoin mining explained like you're five: part 2—mechanics. *Escape Velocity*. *Disponibile su* <http://chrispacia.wordpress.com/2013/09/02/bitcoin-mining-explained-like-youre-five-part2-mechanics/> (accesso 02/04/2019)

elaborazione grafica (GPU), in FPGA ed in dispositivi ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*). Questi dispositivi sono resi operativi mediante un software dedicato, il quale funge da ponte tra i dispositivi hardware e la rete *Blockchain* della criptovaluta<sup>15</sup>.

Le persone appartenenti ad una rete verificano se una determinata transazione è autentica o meno attraverso un determinato processo. Tuttavia, non vi è un unico meccanismo valido per tutte le criptomonete esistenti. Ossia, non esiste un unico algoritmo di consenso di una determinata transazione, ma ogni *Blockchain* relativa ad una valuta cripto ha un suo specifico meccanismo: i più importanti e diffusi sono il *Proof-of-Work* (PoW) ed il *Proof-of-Stake* (PoS)<sup>16</sup>.

Il meccanismo PoW è caratterizzato da una gestione delle identità degli utenti completamente decentralizzata. Infatti, chiunque può iniziare a partecipare al processo di estrazione di una criptomoneta il cui consenso di una transazione si basa sul meccanismo PoW. In questo caso, non è necessario che il potenziale partecipante ottenga una autorizzazione per poter iniziare l'attività di verifica delle transazioni, chiamata *mining*. In particolare, nelle *Blockchain* basate sull'algoritmo PoW, la capacità di un nodo (ossia di un utente) di risolvere il problema matematico, e quindi di produrre il blocco successivo, dipende dalla potenza di calcolo imputata a tale nodo, quindi dall'efficienza e dalla quantità di componenti hardware e software detenute<sup>17</sup>. In questo caso, ciascun nodo ha il compito di risolvere il puzzle matematico per ottenere il diritto di poter modificare la *Blockchain* ed inserire al suo interno le nuove transazioni. Il primo nodo che risolve il puzzle ottiene questo diritto. Quando un nodo trova l'*hash value*, esso fornisce una prova di lavoro (ossia *Proof-of-Work*) relativa la transazione e trasmette il suo blocco, al cui interno vi sono sia le transazioni già registrate nel libro mastro, che le nuove transazioni in attesa di essere confermate e lo stesso *hash value*, agli altri nodi della rete per informarli che la soluzione è stata trovata. Subito dopo, tutti gli utenti, o *minatori*, che ricevono questo messaggio smettono di cercare la soluzione. Invece, verificano che tutte le transazioni all'interno del blocco trasmesso dal nodo siano valide. Se le transazioni sono valide, essi aggiungono il blocco proposto dall'utente che ha risolto il problema matematico alla loro catena corrente e ricominciano a cercare quale sia il valore segreto, ripetendo di nuovo i passaggi precedenti.

Tuttavia, può accadere che più di un minatore trovi la risposta del puzzle.

Inizialmente, questi minatori trasmettono i loro blocchi alla rete. Gli altri utenti danno il loro

---

<sup>15</sup> <https://www.investopedia.com/terms/m/mining.asp>

<sup>16</sup> Tasca, P. (2015). Digital Currencies: Principles, Trends, Opportunities, and Risks. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2657598>

<sup>17</sup> Vukolić, M. (2015). The quest for scalable blockchain fabric: Proof-of-work vs. BFT replication. In "International workshop on open problems in network security" (pp. 112-125). Springer, Cham.

consenso solo al primo blocco che recepiscono ed ignorano gli altri blocchi. Questa situazione può portare ad una divisione della *Blockchain* in più catene parallele (*forking problem*). Satoshi Nakamoto, il creatore del bitcoin<sup>18</sup>, propose come rimedio a tale problema per la sua *Blockchain* concedere ai nodi di continuare a minare sui blocchi che possiedono, fino a quando una delle catene diventa più lunga delle altre. A questo punto tutti i nodi devono seguire la catena più lunga<sup>19</sup>.

Come è stato prima accennato, l'altro algoritmo del consenso più diffuso tra le *Blockchain* delle valute cripto è il *Proof-of-Stake*. In questo caso i nodi delle reti non sono costituiti da uno o più minatori, bensì da utenti chiamati *validatori*. Essi non “estraggono” nuovi blocchi, ma li “forgiano”. Infatti, nelle *Blockchain* PoS il processo di inserimento di nuovi blocchi è chiamato *forging* invece di *mining*. Affinché una persona diventi un validatore, deve depositare una certa quantità di criptovaluta nella rete come posta in gioco (ossia *stake*, in inglese)<sup>20</sup>. L'ammontare di moneta depositato determina la probabilità che un particolare nodo sia scelto per “forgiare” il blocco successivo. Di regola le reti relative le criptomonete che utilizzano la PoS iniziano la loro attività vendendo valute pre-minate, oppure sfruttano l'algoritmo PoW ed in seguito passano all'algoritmo *Proof-of-Stake*.

Il nodo scelto per validare il prossimo blocco controllerà se le transazioni nel blocco sono state eseguite correttamente e nel caso di esito positivo firma il blocco e lo aggiunge nella *Blockchain*. Come ricompensa, il validatore riceve le commissioni associate alle transazioni presenti all'interno del blocco che ha “forgiato”.

Il meccanismo *Proof-of-Stake* è più ecologico rispetto al meccanismo *Proof-of-Work* perché non utilizza una grande quantità di energia elettrica<sup>21</sup>. In secondo luogo, il sistema di incentivo del PoS è differente da quello del PoW poiché il primo premia quei nodi che detengono nei loro portafogli (più conosciuti come *wallet*) per orizzonti temporali estesi, mentre l'algoritmo PoW incentiva i minatori a massimizzare il profitto ottenibile dalla differenza tra l'ammontare di moneta cripto ottenuta a seguito della estrazione di un nuovo blocco ed i costi da sostenere per l'elettricità con cui alimentare i dispositivi hardware necessari per il *mining process* e la loro manutenzione, senza

---

<sup>18</sup> In linea con la letteratura in materia, anche in questo elaborato la lettera maiuscola è usata quando si fa riferimento al sistema, quindi alla rete di utenti ed al suo funzionamento. Invece, la lettera minuscola è usata quando si fa riferimento alla criptovaluta, altrimenti denominata *token*.

<sup>19</sup> Nguyen, G. T., & Kim, K. (2018). A Survey about Consensus Algorithms Used in Blockchain. *Journal of Information processing systems*, 14(1).

<sup>20</sup> Kareem, A., Bin Sulaiman, R., & Umer Farooq, M. (2018). Algorithms And Security Concern In Blockchain Technology: A Brief Review. *Muhammad, Algorithms and Security Concern in Blockchain Technology: A Brief Review (August 19, 2018). Disponibile su SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3234933>*

<sup>21</sup> Zhang, J., Sheng, V. S., Li, Q., Wu, J., & Wu, X. (2017). Consensus algorithms for biased labeling in crowdsourcing. *Information Sciences*, 382, 254-273.

però essere necessaria la successiva conservazione di tale moneta estratta nel *wallet* del nodo<sup>22</sup>.

Quindi, ciò che rende differente tra loro ciascuna valuta cripto sono principalmente il processo mediante il quale i suoi utenti concordano sulle modifiche al proprio libro mastro, ossia quali transazioni accettare come valide, ed il meccanismo in base al quale vengono ricompensati gli utenti che hanno portato a termine la conferma della transazione<sup>23</sup>.

La prima criptomoneta basata sulla tecnologia *Blockchain* è stata Bitcoin, la quale rimane tuttora la più popolare e con la più alta capitalizzazione di mercato. Attualmente, esistono migliaia di criptovalute, con varie funzioni e caratteristiche. Alcune di esse sono dei cloni del bitcoin, mentre altre sono definite “*forks*”. Queste ultime sono delle nuove monete cripto che nascono attraverso la scissione da una *Blockchain* operante per una criptomoneta già esistente<sup>24</sup>.

Finora si è provato a dare una spiegazione più chiara ed esaustiva possibile per un lettore interessato a conoscere la tipologia di asset finanziario sul quale vorrebbe investire parte delle sue disponibilità finanziarie, ossia le criptovalute. Nel prossimo paragrafo sarà data attenzione particolare alla moneta bitcoin, la prima e più famosa valuta cripto esistente.

### 1.3 La criptovaluta più famosa: Bitcoin

Il sistema Bitcoin è una rete di consenso che permette un sistema di pagamento mediante denaro completamente digitale. Si tratta della prima rete decentralizzata di pagamento *peer-to-peer*, gestita dai suoi utenti senza alcuna autorità centrale o intermediario finanziario, come per esempio una banca centrale. Bitcoin è la prima realizzazione di un concetto chiamato “*cryptocurrency*”, che fu descritta per la prima volta nel 1998 da Wei Dai nella *mailing list* “*cypherpunk*”, il quale suggerì l'idea di una nuova forma di moneta che sfrutta la crittografia per controllare la sua creazione e le transazioni, rendendo così superflua la presenza di un'autorità centrale<sup>25</sup>.

La rete Bitcoin è nata il 31 ottobre 2008. Infatti, quel giorno, qualcuno od un gruppo di persone che si identifica con il nome Satoshi Nakamoto annunciò sulla *mailing list* di *The Cryptography*, presente sul sito web *metzdowd.com*, di aver lavorato ad un nuovo sistema di pagamento elettronico completamente *peer-to-peer*, senza una terza parte garante delle transazioni tra utenti.

---

<sup>22</sup> Chohan, U. W. (2018). Proof-of-Stake Algorithmic Methods: A Comparative Summary. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=3131897>

<sup>23</sup> Tasca, P. (2015). Digital Currencies: Principles, Trends, Opportunities, and Risks. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2657598>

<sup>24</sup> <https://www.investopedia.com/terms/c/cryptocurrency.asp>

<sup>25</sup> <https://bitcoin.org/en/faq>

Oltre a questo messaggio, Nakamoto allegò un documento, tutt'oggi disponibile al link <http://www.bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Questo link porta al famoso *white paper* intitolato “*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*”<sup>26</sup>. In questo documento, Nakamoto propose una versione puramente *peer-to-peer* di denaro elettronico che permette di spedire direttamente pagamenti online da un'entità ad un'altra senza passare tramite un'istituzione finanziaria, poiché il problema della doppia spesa è risolto mediante l'utilizzo di una rete *peer-to-peer* di utenti. Infatti, la tecnologia Bitcoin utilizza prove crittografiche nei propri software invece di affidarsi a un'autorità centrale, per gestire l'emissione della criptovaluta bitcoin, per elaborare le transazioni e verificarne la loro validità<sup>27</sup>. Nakamoto lasciò il progetto nel 2010 e la sua vera identità rimane sconosciuta tuttora. Tuttavia, poiché il protocollo del sistema Bitcoin è di natura *open source*, altri sviluppatori hanno continuato e continuano a lavorarci.

La natura *open source* di Bitcoin implica che il codice sorgente è interamente pubblico. Questa caratteristica consente a qualsiasi sviluppatore di software di poter acquisire liberamente e senza costi il protocollo, esaminarlo e creare delle proprie versioni del software per test o ulteriore sviluppo. Un'altra peculiarità di Bitcoin è l'essere progettato per funzionare solo con il consenso da parte della maggioranza della capacità di elaborazione della rete. Ciò garantisce che gli sviluppatori di software che modificano il codice sorgente Bitcoin, creando così delle proprie versioni del software, non possano mutare il protocollo Bitcoin senza l'accordo tra gli utenti che detengono la maggioranza della capacità di elaborazione e gli sviluppatori.

La tecnologia Bitcoin decentralizza il processo di elaborazione e di verifica delle transazioni tra la rete di utenti del sistema. Con l'invenzione di Bitcoin, per la prima volta i pagamenti possono essere effettuati su Internet senza il controllo ad opera di un'autorità centrale e senza sostenere dei costi di transazione<sup>28</sup>. Prima di questa invenzione, le transazioni effettuate online richiedevano sempre una terza parte come intermediario fidato per verificare le transazioni<sup>29</sup>. Ad esempio, se Tizio vuole inviare \$10 a Caio, Tizio dovrebbe utilizzare un fornitore di servizi di pagamento come una rete collegata ad una carta di credito o PayPal<sup>30</sup>. La funzione del fornitore di servizi di

---

<sup>26</sup> <https://www.investopedia.com/terms/b/bitcoin.asp>

<sup>27</sup> Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*.

<sup>28</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

<sup>29</sup> Brito, J., & Castillo, A. (2013). *Bitcoin: A primer for policymakers*. Mercatus Center at George Mason University.

<sup>30</sup> PayPal offre alle aziende e ai privati che dispongano di un indirizzo email la possibilità di inviare e ricevere denaro in modo semplice, rapido e sicuro. Un conto PayPal funziona come un portafoglio virtuale a cui possono essere collegate carte di credito, di debito (bancomat) o prepagate di diverso tipo, conti correnti bancari. Una volta collegati al conto PayPal, i conti bancari e le carte possono essere usati, senza la necessità di inserire ogni

pagamento è di garantire che il mittente, Tizio, abbia l'ammontare di denaro da trasferire e che il destinatario, Caio, abbia ricevuto tale ammontare con successo. Ciò è possibile perché questi intermediari mantengono un registro dei saldi per i titolari dei conti. Quando Tizio invia a Caio \$10, un intermediario come PayPal dedurrà l'importo dal suo conto e di conseguenza lo aggiungerà al conto di Caio. Per il servizio che offre, l'intermediario ottiene una commissione di transazione. L'unità monetaria utilizzata nei pagamenti sulla rete Bitcoin è il bitcoin, non una valuta fiat. Il bitcoin è una valuta digitale, nel senso che esiste solo digitalmente, in quanto non circola in maniera fisica, come per esempio l'euro od il dollaro. Esso è considerato una valuta poiché per la maggior parte degli scopi, soddisfa la definizione economica di moneta. Infatti, il bitcoin è un mezzo di scambio, è una unità di conto ed è una riserva di valore<sup>31</sup>. Esso è comunemente abbreviato con il codice valutario "BTC", sebbene alcune piattaforme di scambio utilizzino la sigla "XBT", un codice valutario anche esso compatibile con ISO 4217, lo standard internazionale per i codici valutari, stabilito dall'Organizzazione Internazionale per le Standardizzazioni (ISO)<sup>32</sup>.

Il bitcoin è una moneta digitale che è creata e posseduta elettronicamente. Queste valute possono essere inviate e ricevute attraverso diverse soluzioni: apposite app su smartphone, software installati su un computer oppure un soggetto fornitore del servizio che munisce l'utente di un portafoglio di bitcoin.

Il portafoglio genera un indirizzo, simile al numero di un conto bancario, tranne per il fatto che un indirizzo Bitcoin è una sequenza alfanumerica di caratteri unica in cui l'utente può iniziare a ricevere pagamenti. Di solito, i bitcoin possono essere ottenuti o acquistandoli presso una piattaforma di scambio Bitcoin o un distributore automatico oppure ricevendoli come modalità di pagamento per beni e servizi.

Il sistema Bitcoin è rivoluzionario perché risolve il problema della doppia spesa senza bisogno della presenza di una terza parte. Nell'informatica, per problema della doppia spesa si intende il problema che il denaro digitale possa essere facilmente speso più di una volta. Si consideri ad esempio la situazione in cui il denaro digitale è semplicemente un file di computer, proprio come un documento digitale. Tizio potrebbe inviare 10 dollari a Caio inviando un file di denaro a lui e può facilmente farlo via e-mail. Tuttavia, è necessario ricordare che l'invio di un file crea di fatto una copia del file e non cancella il file originale dal computer di Tizio. Quando Tizio allega un file

---

volta numeri e coordinate diverse: basterà ricordare l'indirizzo email e la password PayPal. *Fonte: PayPal.com* (<https://www.paypal.com>).

<sup>31</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

<sup>32</sup> Matonis, J. (2013). Bitcoin gaining market-based legitimacy as XBT. *Disponibile su CoinDesk*: <http://www.coindesk.com/bitcoin-gaining-market-based-legitimacy-xbt/>

di denaro in un messaggio di posta elettronica a Caio, conserva ancora una copia del file di denaro anche dopo che è stata inviata e quindi l'ha speso. Senza un intermediario terza parte garante delle transazioni tra utenti, Tizio potrebbe facilmente inviare gli stessi 10 dollari a un'altra persona oltre Caio.

Il protocollo Bitcoin risolve il problema della doppia spesa mantenendo un libro mastro contenente i saldi di ogni utente. Tuttavia, invece di affidarsi ad una unica terza parte fidata per gestire questo registro, Bitcoin decentra questa responsabilità all'intera rete. Così, quest'ultima tiene costantemente traccia dei saldi in un libro mastro pubblico chiamato *Blockchain*. La *Blockchain* è un registro ufficiale di tutte le transazioni effettuate, pubblicamente accessibile. Quindi chiunque può visionarlo. Essa permette a chiunque di poter verificare la validità di una transazione. Coerentemente con quanto è stato scritto nel primo paragrafo di questo elaborato, i trasferimenti di bitcoin sono in primo luogo trasmessi ad ogni membro della rete. Successivamente sono soggetti a verifica. In caso di successo essi sono inclusi all'interno del registro *Blockchain*. In questo modo, tutti i bitcoin spesi non possono essere spesi nuovamente: il problema della doppia spesa è eliminato. Il sistema Bitcoin utilizza la crittografia asimmetrica (o altrimenti detta a chiave pubblica) per risolvere il problema della doppia spesa.

Nonostante siano caratterizzati da una tecnologia complessa per chi non possiede una elevata conoscenza informatica, i bitcoin sono spesso utilizzati semplicemente come mezzo di pagamento in cambio di beni e servizi<sup>33</sup>. Mentre il numero di imprese che esercitano la loro attività esclusivamente in via fisica (quindi senza l'utilizzo di siti adibiti alla vendita online) che accettano pagamenti in bitcoin rimane basso, ci sono molte altre imprese che operano anche o esclusivamente online che accettano i bitcoin per beni e servizi sia digitali che fisici<sup>34</sup>. Il prezzo di questi beni e servizi è solitamente basato sul tasso di cambio tra Bitcoin e una valuta reale, che può essere trovato facilmente online<sup>35</sup>.

In genere, un utente che desidera spendere dei bitcoin li ottiene scambiando valuta reale per bitcoin. Ciò può essere effettuato acquistando i bitcoin da un distributore automatico, da una piattaforma di scambio oppure semplicemente da un'altra persona. I distributori automatici di bitcoin sono il modo più conveniente per acquistare i bitcoin, perché si può facilmente inserire del denaro in una macchina per ottenere i bitcoin istantaneamente. Anche le piattaforme di scambio

---

<sup>33</sup> Kaplanov, N. (2012). Nerdy money: Bitcoin, the private digital currency, and the case against its regulation. *Loy. Consumer L. Rev.*, 25, 111.

<sup>34</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

<sup>35</sup> XE, 2019. XBT—bitcoin. Disponibile su <http://www.xe.com/currency/xbt-bitcoin>



sono un mezzo popolare per ottenere dei bitcoin, ma poiché di solito è presente una stanza di compensazione<sup>36</sup>, vi sono dei ritardi temporali tra l'invio dell'ordine e la sua regolazione<sup>37</sup>. Anche scambiare denaro reale per bitcoin è una possibilità, ma è scomodo se i bitcoin sono necessari tempestivamente. Tuttavia, i siti web di *marketplace* come LocalBitcoin sono nati come luogo di incontro tra le persone interessate all'acquisto e a quelle interessate alla vendita di bitcoin, per consentire loro di farlo in privato, sia di persona che online<sup>38</sup>.

Quest'ultima opzione è più probabile che venga utilizzata in paesi con accesso limitato o senza accesso a distributori automatici o piattaforme di scambio Bitcoin<sup>39</sup>.

I bitcoin sono generalmente conservati in un portafoglio, quindi un utente deve avere un portafoglio disponibile per comprare e vendere bitcoin. Nello specifico, esso è costituito dalle chiavi private<sup>40</sup>. Esse sono utilizzate per accedere agli indirizzi Bitcoin e firmare le transazioni e, pertanto, devono essere conservate in modo sicuro.

Esistono vari tipi di portafogli Bitcoin, inclusi portafogli desktop, mobili, Web e hardware.

Gli utenti che scelgono di installare un portafoglio desktop sul proprio computer possono creare e mantenere i portafogli sul proprio computer. Il primo software client Bitcoin, *Bitcoin Core* (ancora in uso oggi), include la funzionalità di creare un indirizzo bitcoin sia per inviare e ricevere bitcoin che per conservare la chiave privata corrispondente a quell'indirizzo<sup>41</sup>. Esistono molti altri software che gli utenti possono scegliere di installare sul proprio computer, come *MultiBit* ed *Armory*<sup>42</sup>. Un diverso software può comportare la presenza di particolari caratteristiche aggiuntive, sebbene la funzione più basilare di un portafoglio, ossia la conservazione della chiave privata per il corrispondente indirizzo bitcoin sia la stessa. Mentre l'utente mantiene il controllo del suo portafoglio sul desktop in ogni momento, tali portafogli, come qualsiasi altro file del computer,

---

<sup>36</sup> Una stanza di compensazione funge da intermediario tra un acquirente ed un venditore e cerca di assicurare che il processo dall'avvio di una negoziazione alla sua liquidazione sia agevole. Il suo ruolo principale è quello di assicurarsi che l'acquirente e il venditore onorino i loro obblighi contrattuali. Essa deve quindi liquidare i conti di trading, compensare le operazioni di negoziazione, raccogliere dalle parti e mantenere i margini, regolare la consegna degli strumenti finanziari acquistati e la cessione di quelli e comunicare i dettagli delle negoziazioni alle parti interessate. *Fonte: Investopedia.com* (<https://www.investopedia.com/terms/c/clearinghouse.asp>).

<sup>37</sup> Ulm, B. (2014). Bitcoin ATMs boom: new locations. *CoinTelegraph*. Disponibile su <http://cointelegraph.com/news/112163/bitcoin-atms-boom-new-locations>

<sup>38</sup> <https://localbitcoins.com/>

<sup>39</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

<sup>40</sup> <http://www.coindesk.com/information/how-to-store-your-bitcoins/> ((accesso in data 17/04/2019))

<sup>41</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). Op. cit.

<sup>42</sup> <https://bitcoin.org/en/choose-your-wallet> (accesso in data 17/04/2019)

sono vulnerabili ai furti da parte di utenti malintenzionati o software<sup>43</sup>.

Come anticipato prima, i portafogli desktop non sono gli unici portafogli di bitcoin esistenti, anche se sono stati i primi ad essere creati.

Quando si effettua una transazione in un negozio fisico, un portafoglio mobile è spesso il modo più conveniente per pagare utilizzando i bitcoin. I portafogli mobili sono semplicemente un'applicazione che fornisce la funzionalità di portafoglio Bitcoin in un telefono cellulare<sup>44</sup>. Esistono sia app, come *Bitcoin Wallet* e *Mycelium*, che esistono solo sulla piattaforma mobile, mentre alcuni portafogli desktop come *Blockchain.info* hanno anche versioni mobili<sup>45</sup>. Tuttavia, all'inizio del 2014, Apple rimosse alcune app che fornivano il servizio di gestione di un portafoglio di bitcoin dall'App Store<sup>46</sup>, anche se delle versioni non ufficiali continuano ad esistere<sup>47</sup>.

Un altro tipo di portafoglio è il portafoglio web, generalmente accessibile da qualsiasi luogo tramite un browser con una connessione Internet, indipendentemente dal dispositivo utilizzato<sup>48</sup>. Le chiavi private per gli indirizzi Bitcoin di un utente sono conservate e archiviate dal fornitore del servizio di gestione del portafoglio online, il che può comportare il rischio che tale fornitore si impossessi dei bitcoin presenti nei portafogli gestiti tramite il sito web di cui è proprietario, se la sicurezza del sito web non è stata implementata correttamente. *Blockchain.info* ha anche un popolare portafoglio basato sul web ed alcuni portafogli online offrono crittografia aggiuntiva e autenticazione a due fattori per una maggiore sicurezza.

Infine, c'è un interesse piccolo ma crescente nei portafogli hardware. Essi sono dispositivi hardware specializzati in grado di contenere le chiavi elettronicamente e sono anche in grado di inviare e ricevere bitcoin<sup>49</sup>. Un esempio di un dispositivo Bitcoin dedicato è *Trezor*, un dispositivo a token a un solo scopo per effettuare transazioni Bitcoin sicure<sup>50</sup>.

Il sistema Bitcoin è progettato in modo tale che siano emesse al massimo 21 milioni di monete bitcoin, che dovrebbero essere create entro il 2040. Finora, i nuovi bitcoin sono stati e sono

---

<sup>43</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

<sup>44</sup> Ibidem

<sup>45</sup> <https://bitcoin.org/en/choose-your-wallet> ((accesso in data 17/04/2019))

<sup>46</sup> Southurst, J. (2014). *Apple removes blockchain bitcoin wallet apps from its app stores*. CoinDesk. Disponibile su <http://www.coindesk.com/apple-removes-blockchain-bitcoin-wallet-from-app-stores/> (accesso in data 17.04.19)

<sup>47</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). Op. cit.

<sup>48</sup> <http://www.coindesk.com/information/how-to-store-your-bitcoins/> ((accesso in data 17/04/2019))

<sup>49</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). Op. cit.

<sup>50</sup> <https://wiki.trezor.io/FAQ:Overview>

tutt'ora emessi attraverso il processo di *mining*. Come anticipato nel precedente paragrafo, i minatori, che sono utenti della rete Bitcoin che eseguono dei software su componenti hardware specializzate, elaborano le transazioni e sono ricompensati con nuovi bitcoin per lo sforzo energetico effettuato dai loro computer al fine di mantenere ben funzionante la rete. Il processo di *mining* è importante non solo per l'emissione di nuovi bitcoin, ma anche perché è un processo necessario affinché le transazioni siano confermate e successivamente aggiunte alla *Blockchain*. Il processo di verifica è un processo ad alta intensità di calcolo che garantisce che solo le transazioni legittime siano verificate e registrate nella *Blockchain*. L'algoritmo del consenso su cui si basa il sistema Bitcoin è il *Proof-of-Work*. Quello che succede durante questa attività è in concreto un processo matematico. Infatti, come è stato precedentemente spiegato, l'attività di *mining* è un'attività intensiva che richiede ai minatori di trovare la soluzione di un problema matematico prestabilito al fine di creare un nuovo blocco. Tale attività è difficile perché i minatori devono sia garantire che le transazioni siano valide che adattare i dati in modo tale da essere aggiunti all'interno della *Blockchain*. La difficoltà del problema è regolata automaticamente in modo che un nuovo blocco possa essere creato solo ogni dieci minuti in media. Il protocollo Bitcoin è progettato per generare progressivamente nuovi bitcoin, con una velocità prevedibile ma decrescente. Per garantire una crescita progressiva, l'ammontare di bitcoin emessi come ricompensa per la risoluzione di un blocco si dimezza automaticamente ogni quattro anni e la difficoltà di risoluzione del problema aumenta nel tempo. Ci sarà un momento in futuro dove verrà raggiunto il limite di emissione dei bitcoin e l'incentivo per i minatori a continuare la loro attività sarà invece rappresentato esclusivamente dalle commissioni di transazione. Infatti, come è stato precedentemente detto, il protocollo Bitcoin attuale prevede un limite al numero di bitcoin in circolazione, pari a 21 milioni. Una volta che l'ultimo bitcoin è emesso attraverso il *mining*, i minatori che continueranno a contribuire con la loro potenza di calcolo per verificare le transazioni saranno invece ricompensati attraverso le commissioni di transazione.

Questa situazione è poco desiderabile per le persone e per le aziende che accettano i bitcoin come mezzo di pagamento, poiché dovranno sostenere questa commissione se vogliono continuare a riconoscere questa moneta come strumento di pagamento. Tuttavia, la ricompensa mediante le commissioni garantisce che i minatori continueranno ad avere un incentivo per mantenere la rete Bitcoin attiva e funzionante anche dopo che l'ultimo bitcoin è stato estratto.

Ogni nuovo blocco che viene aggiunto con successo alla *Blockchain* fa riferimento al blocco precedente, in quanto contiene sia le nuove che le vecchie transazioni, rendendo esponenzialmente

difficile l'inversione delle transazioni precedenti<sup>51</sup>.

Poiché la modifica di un particolare blocco sulla *Blockchain* richiede il ricalcolo delle prove di lavoro di tutti i blocchi successivi ad esso<sup>52</sup>, diventa sempre più impossibile per una persona manipolare un blocco dopo aver aggiunto più blocchi dopo di esso. Inoltre, come è stato menzionato nel precedente paragrafo, il protocollo Bitcoin è progettato per preferire catene più lunghe in caso di *forking* della catena. I minatori svolgono quindi un compito vitale quando verificano le transazioni ed assicurano che la *Blockchain* non possa essere manomessa.

Mentre i trasferimenti di bitcoin sono ricevuti istantaneamente dalla rete, vi è in pratica un ritardo di 10 minuti affinché una transazione sia confermata. Questo perché l'attuale sistema Bitcoin prevede che siano necessari dieci minuti per creare ed aggiungere un nuovo blocco nella *Blockchain*. Avere una conferma assicura che la rete Bitcoin abbia verificato che le monete coinvolte siano valide e non siano state già spese, eliminando così il problema della doppia spesa<sup>53</sup>. Solitamente, la maggior parte degli utenti attendono sei conferme, vale a dire un'ora, prima di considerare una transazione da "confermare", ma ciascun utente ha la libertà di decidere quanto tempo desidera attendere prima di considerare confermata la transazione in attesa<sup>54</sup>.

La sicurezza del sistema Bitcoin è implementata attraverso l'utilizzo di algoritmi di *hash*. Il protocollo Bitcoin è *open-source* ed è continuamente migliorato dalla comunità degli sviluppatori. Tali proposte di modifica del protocollo sono soggette al consenso degli utenti che detengono la maggioranza della capacità computazionale della rete Bitcoin. La funzione di *hash* utilizzata principalmente in Bitcoin si chiama SHA-256<sup>55</sup>.

SHA-256 è un tipo di funzione *hash* che, data una stringa di lunghezza qualsiasi come input, restituisce come output una stringa di 64 caratteri esadecimali<sup>56</sup>. Essa è utilizzata nel sistema Bitcoin per le firme digitali, le quali proteggono sia le transazioni che la *Blockchain*, e costituisce la base del problema matematico che i minatori devono risolvere per verificare ogni transazione, chiamato prova del lavoro (ossia *Proof-of-Work*). Da qui prende nome il meccanismo di consenso

---

<sup>51</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

<sup>52</sup> <https://bitcoin.org/en/faq>

<sup>53</sup> Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.

<sup>54</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). Op. cit.

<sup>55</sup> Pacia, C. (2013). Bitcoin mining explained like you're five: part 2—mechanics. *Escape Velocity*. Disponibile su <http://chrispacia.wordpress.com/2013/09/02/bitcoin-mining-explained-like-youre-five-part2-mechanics/> (accesso 18.04.19)

<sup>56</sup> De Tullio, J. (2018). La matematica dei minatori della blockchain.

sul quale si base la rete Bitcoin<sup>57</sup>. Il quesito matematico non si risolve ricorrendo alla logica, bensì è un problema crittografico che richiede un enorme numero di tentativi e si risolve con il metodo di forza bruta (ossia un algoritmo che consiste nel provare tutte le soluzioni teoricamente possibili fino a trovare quella adatta) che rende impossibile prevedere quale utente troverà la soluzione prima degli altri a meno di non disporre di una potenza computazionale rilevante. Bastano anche piccole modifiche al messaggio di partenza per ottenere una stringa completamente diversa<sup>58</sup>.

Aspetto centrale del sistema Bitcoin è la crittografia a chiave pubblica (asimmetrica), che è utilizzata per generare gli indirizzi Bitcoin, firmare le transazioni e verificare i pagamenti. La crittografia a chiave pubblica è una tecnica per determinare in modo affidabile l'autenticità delle transazioni Bitcoin utilizzando le firme digitali. Essa utilizza un algoritmo che genera due chiavi separate ma collegate asimmetricamente: una chiave pubblica e una chiave privata. Le chiavi sono asimmetriche nel senso che dal punto di vista computazionale la chiave pubblica deriva dalla chiave privata ma è impossibile ottenere una chiave privata avendo una chiave pubblica. In questo sistema, la chiave privata è utilizzata per firmare le transazioni, producendo così una firma digitale, mentre la chiave pubblica è utilizzata per verificare le firme digitali delle transazioni. La chiave pubblica può essere conosciuta da tutti; nella rete Bitcoin, la chiave pubblica è utilizzata come indirizzo Bitcoin di un utente, attraverso il quale sono inviati e ricevuti i pagamenti. Invece, la chiave privata deve essere tenuta segreta, in quanto attraverso di essa un utente sigla una transazione, rivendicando così tale atto. Il grande vantaggio della crittografia asimmetrica è che le transazioni possono essere facilmente verificate utilizzando la chiave pubblica senza condividere la chiave privata utilizzata per firmare le transazioni<sup>59</sup>.

In questo paragrafo sono state esposte le principali caratteristiche del sistema Bitcoin e della moneta cripto utilizzata. Giunti a questo punto, si ritiene doveroso illustrare brevemente anche le altre principali criptovalute presenti nel mercato attualmente, in modo tale da acquisire una piena conoscenza degli asset finanziari oggetto di ipotetico investimento in questo elaborato.

## 1.4 Descrizione delle altre criptovalute rilevanti nel mercato

L'obiettivo di questo elaborato è analizzare un possibile strumento finanziario che permetta di investire nel mercato delle criptomonete. Per questo, non è sufficiente discutere solamente

---

<sup>57</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

<sup>58</sup> De Tullio, J. (2018). De Tullio, J. (2018). *La matematica dei minatori della blockchain*.

<sup>59</sup> Chuen, D. L. K. (Ed.). (2015). *Op. cit.*

riguardo Bitcoin, ma è necessario esporre anche le altre principali valute cripto che compongono il settore, in modo da comprendere pienamente quali sono gli *asset* finanziari oggetto di investimento in questo elaborato. Per questo motivo, si elencano e si descrivono in questo paragrafo le altre nove principali criptomonete per capitalizzazione di mercato. La scelta di tale criterio è dovuta alla prassi vigente in tema di investimenti in fondi indicizzati, tra cui gli ETF. Infatti, essi tentano di replicare l'andamento di un indice finanziario. Attualmente, la maggior parte degli indici finanziari esistenti sono costruiti attribuendo a ciascun bene componente l'indice un peso proporzionale alla sua capitalizzazione di mercato<sup>60</sup>.

I principali esempi di questo tipo di indice sono lo S&P 500<sup>61</sup>, il FTSE 100<sup>62</sup>, il FTSE MIB<sup>63</sup> ed il DAX 30<sup>64</sup>.

Dal momento che Bitcoin è la moneta cripto con la più alta capitalizzazione di mercato, pari a circa \$ 102.000.000.000, adesso descriviamo la seconda criptovaluta (o meglio, la seconda rete che permette l'utilizzo di una moneta cripto) per capitalizzazione di mercato, ossia Ethereum. Essa ha una capitalizzazione di mercato pari a \$ 17.000.000.000 circa<sup>65</sup>.

Ethereum è una piattaforma decentralizzata che fa ricorso al linguaggio di programmazione Turing-completo. È stata creata da Vitalik Buterin. Ethereum consente sia la creazione di criptomoneta, denominata *Ether* (codice valutario ETH), che di *smart contracts*, ossia contratti intelligenti<sup>66</sup>. Questi ultimi sono dei sistemi che spostano automaticamente degli *asset* digitali in base a delle regole arbitrarie e predefinite all'interno di tali sistemi<sup>67</sup>.

La terza valuta cripto per capitalizzazione di mercato attualmente esistente è Ripple (circa \$ 13.000.000.000). A differenza di altre criptovalute, Ripple non può essere estratta<sup>68</sup>. Ripple (codice valutario XRP) è stato creato da Chris Larsen e Jed McCaleb. È una delle prime

---

<sup>60</sup> Bodie, Z., Kane, A. & Marcus, A. J. (2013). *Investments*. McGraw-Hill Education.

<sup>61</sup> <https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-sp-us-indices.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>62</sup> <https://www.ftse.com/Analytics/Factsheets/temp/8fb86b07-e70f-425c-b3ff-08fd75699861.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>63</sup> [https://www.ftse.com/products/downloads/FTSE\\_MIB\\_Index\\_\\_English\\_.pdf?89](https://www.ftse.com/products/downloads/FTSE_MIB_Index__English_.pdf?89). Accesso in data 02/05/2019

<sup>64</sup> <https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Factsheet%20DAX.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>65</sup> <https://coinmarketcap.com/>

<sup>66</sup> Chen, S., Chen, C., Härdle, W. K., Lee, T. M., & Ong, B. (2016). A first econometric analysis of the CRIX family. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2832099>

<sup>67</sup> Buterin, V. (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform. white paper.

<sup>68</sup> <https://coinmarketcap.com/>

criptovalute non sviluppate sulla base del protocollo di Bitcoin. È una rete di pagamento *peer-to-peer* distribuita e *open source*, ma è gestita centralmente dall'azienda. Quindi, a differenza della rete Bitcoin, Ripple non è decentralizzata. Tutte le valute, comprese la valuta cripto ripple e le valute ad hoc create dagli utenti, possono essere trasferite sul sistema di pagamento. Il numero massimo di monete ripple è di 100 miliardi<sup>69</sup>.

Inoltre, consente alle banche di tutto il mondo di negoziare tra loro senza la necessità di un corrispondente centrale. Banche come Santander e UniCredit hanno iniziato a sperimentare sulla piattaforma Ripple<sup>70</sup>.

Ad oggi, la quarta criptomoneta per capitalizzazione di mercato è Bitcoin Cash (circa \$ 5.000.000.000)<sup>71</sup>. Bitcoin Cash (codice valutario BCH) è una criptovaluta creata ad agosto 2017, derivante da un *fork* di Bitcoin. Bitcoin Cash differisce principalmente da Bitcoin in quanto aumenta la dimensione di ciascun blocco della *Blockchain* da 1 MB a 8 MB.

Infatti, l'obiettivo di Bitcoin Cash è aumentare il numero di transazioni che possono essere elaborate all'interno del sistema legato a questa moneta, ed i suoi utenti sperano che questo cambiamento consentirà a Bitcoin Cash di competere con il volume di transazioni che PayPal e Visa possono attualmente gestire.

A partire da luglio 2018 Bitcoin Cash è scambiato nei vari *exchange* ad un prezzo molto più basso di quello di Bitcoin. Il volume di scambio è così basso che, finora, l'aumento delle dimensioni dei blocchi non è stato necessario per elaborare le transazioni più rapidamente del sistema Bitcoin<sup>72</sup>. Infatti, attualmente il prezzo di un bitcoin è circa \$ 5.800, mentre il prezzo di un bitcoin cash è circa \$ 295. Infine, oggi il volume di scambio giornaliero del bitcoin è pari a quasi \$ 15.000.000.000, mentre quello della moneta bitcoin cash è quasi \$ 2.000.000.000.

La quinta moneta cripto presente nel mercato, per capitalizzazione, è Litecoin (circa \$ 4.500.000.000)<sup>73</sup>. Litecoin (codice valutario LTC) è stato creato da Charles Lee, ex dipendente di Google, ed emesso in circolazione nell'ottobre del 2011. Il sistema Litecoin utilizza una tecnologia simile a quella della rete Bitcoin, in quanto Lee ha modificato il codice sorgente di Bitcoin al fine di creare la sua moneta. Tuttavia, rispetto a Bitcoin il tempo di generazione di un blocco da

---

<sup>69</sup> Chuen, K., Lee, D., Guo, L., & Wang, Y. (2017). Cryptocurrency: A new investment opportunity?. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2994097>

<sup>70</sup> Chen, S., Chen, C., Härdle, W. K., Lee, T. M., & Ong, B. (2016). A first econometric analysis of the CRIX family. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2832099>

<sup>71</sup> <https://coinmarketcap.com/>

<sup>72</sup> <https://www.investopedia.com/terms/b/bitcoin-cash.asp>

<sup>73</sup> <https://coinmarketcap.com/>

aggiungere alla catena di Litecoin è di 2 minuti e mezzo, invece di 10 minuti. In secondo luogo, il limite massimo di monete in circolazione è pari a 84 milioni, un limite quattro volte superiore a quello fissato dall'attuale protocollo Bitcoin. Infine, Litecoin utilizza un diverso algoritmo di *hashing*, chiamato *Scrypt Proof-of-Work*<sup>74</sup>.

La sesta criptovaluta per capitalizzazione di mercato attualmente esistente è EOS (circa \$ 4.500.000.000). Anche questa moneta non è estraibile<sup>75</sup>.

EOS è un sistema decentralizzato basato sulla tecnologia *Blockchain* che consente lo sviluppo e l'esecuzione di applicazioni decentralizzate (dApps) sulla sua piattaforma.

EOS supporta tutte le funzionalità di base necessarie per consentire alle aziende ed ai privati di creare applicazioni basate sulla *Blockchain* in maniera simile alle applicazioni basate sul Web. Funziona essenzialmente in modo simile al Play Store di Google e all'App Store di Apple.

Il sistema EOS comprende due elementi chiave: i token EOS.IO e EOS. EOS.IO gestisce e controlla la rete *Blockchain* EOS. EOS.IO utilizza l'architettura *Blockchain* costruita per abilitare il ridimensionamento verticale e orizzontale delle applicazioni decentralizzate. Il token EOS è la criptovaluta della rete EOS. Il suo codice valutario è EOS.

EOS è stato lanciato da Dan Larimer<sup>76</sup>.

La settima valuta crypto per capitalizzazione di mercato è Binance Coin (circa \$ 3.000.000.000), Anche questa moneta non può essere estratta<sup>77</sup>. Binance Coin è la criptomoneta emessa dalla piattaforma di scambio di criptovalute Binance, ed il suo codice valutario è BNB<sup>78</sup>.

Il numero massimo di monete presenti in circolazione è 200 milioni di token BNB.

La moneta Binance Coin dovrebbe incrementare le operazioni effettuate nella piattaforma Binance ed il suo funzionamento. Attraverso tale moneta è possibile pagare, all'interno della piattaforma, le commissioni di negoziazione, le commissioni di quotazione e qualsiasi altra commissione.

Binance Coin può essere utilizzata per investire in determinate ICO<sup>79</sup> che sono elencate attraverso

---

<sup>74</sup> Chen, S., Chen, C., Härdle, W. K., Lee, T. M., & Ong, B. (2016). A first econometric analysis of the CRIX family. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2832099>

<sup>75</sup> <https://coinmarketcap.com/>

<sup>76</sup> <https://www.investopedia.com/tech/what-is-eos/>

<sup>77</sup> <https://coinmarketcap.com/>

<sup>78</sup> <https://www.binance.com/>

<sup>79</sup> Una *Initial Coin Offering* (ICO) funge da raccolta di fondi nel mondo delle criptovalute. Un'azienda che cerca di creare una nuova moneta, un'app o un servizio lancia un ICO. Successivamente, gli investitori interessati acquistano l'offerta, sia con valuta fiat che con monete digitali preesistenti. In cambio del loro supporto, gli investitori ricevono un ammontare di monete crypto emesse dall'azienda. Gli investitori sperano che il rendimento di questa valuta aumenti nel tempo, generando così un ritorno sull'investimento positivo. La



il programma Launchpad di Binance<sup>80</sup>.

L'ottava criptovaluta per capitalizzazione di mercato è Tether (circa \$ 2.500.000.000). Anche questa moneta non è estraibile<sup>81</sup>. Essa è una “*stable coin*”. Le *stable coin* sono utilizzate dalle piattaforme di scambio di criptomonete poiché permettono loro di fornire una quotazione denominata in dollari statunitensi senza aprire un conto bancario denominato in tale valuta *fiat*. Questa caratteristica è particolarmente utile poiché è difficile per le piattaforme di scambio mantenere relazioni con le banche. Per un investitore, la caratteristica principale di una *stable coin* come Tether è la sua conversione e scambio con altre valute cripto, in particolare in quelle piattaforme che non accettano le monete fiat come mezzo di scambio. Il valore di Tether è ancorato al valore del dollaro statunitense, quindi 1 Tether token=1 dollaro USD. Di regola, le monete Tether non sono accettate per l'acquisto di beni e servizi online, quindi gli utenti non sono incentivati a mantenere tali monete all'interno dei propri portafogli, anche per la sua facilità di scambio con le altre monete cripto. Tether è spesso utilizzato per convertire una determinata criptovaluta in un'altra<sup>82</sup>.

La nona moneta cripto per capitalizzazione di mercato è quella lanciata dalla piattaforma Stellar (circa \$ 2.000.000.000)<sup>83</sup>. Stellar è una rete basata sulla tecnologia *Blockchain* che collega banche, sistemi di pagamento e persone per facilitare il trasferimento di monete a costi contenuti, compresi i pagamenti. Il sistema Stellar ha una sua criptovaluta, chiamata *Lumen*, che è indicata con il codice valutario XLM. Anche Lumen non può essere estratta.<sup>84</sup> Stellar è stato creato da Jed McCaleb, che è stato anche il fondatore di Ripple. Stellar è stato creato utilizzando il codice sorgente di Ripple: è quindi un suo *fork*<sup>85</sup>. Stellar è un sistema di trasferimento e pagamento transfrontaliero che collega le entità finanziarie con l'obiettivo di ridurre significativamente i costi di transazione ed i suoi tempi di elaborazione. Ogni transazione elaborata richiede una

---

società che ha lanciato l'ICO utilizza i fondi degli investitori come mezzo per promuovere i propri obiettivi, per lanciare il suo prodotto o per avviare la sua moneta digitale. Le ICO sono utilizzate dalle startup per aggirare il rigoroso e regolamentato processo di raccolta di capitali richiesto dai venture capitalist o dalle banche. *Fonte: Investopedia.com* (<https://www.investopedia.com/terms/i/initial-coin-offering-ico.asp>)

<sup>80</sup> <https://www.investopedia.com/terms/b/binance-coin-bnb.asp>

<sup>81</sup> <https://coinmarketcap.com/>

<sup>82</sup> Wei, W. C. (2018). The impact of Tether grants on Bitcoin. *Economics Letters*, 171, 19-22.

<sup>83</sup> <https://coinmarketcap.com/>

<sup>84</sup> <https://www.investopedia.com/terms/s/stellar-cryptocurrency.asp>

<sup>85</sup> Chen, S., Chen, C., Härdle, W. K., Lee, T. M., & Ong, B. (2016). A first econometric analysis of the CRIX family. *Disponibile su SSRN: https://ssrn.com/abstract=2832099*

commissione di 0,00001 Lumen.

L'obiettivo principale di Stellar riguarda il settore dei prestiti bancari nelle economie in via di sviluppo. Questa rete non addebita nessuna commissione agli individui od alle istituzioni che utilizzano il suo sistema. Stellar ha ricevuto finanziamenti iniziali dalla startup Stripe e donazioni da organizzazioni come BlackRock e Google. Questo sistema copre i costi operativi sia accettando donazioni pubbliche deducibili dalle tasse che utilizzando il 5% dei lumen esistenti ed accantonati prima del lancio di questa piattaforma a tal fine<sup>86</sup>.

Infine, la decima valuta cripto per capitalizzazione di mercato è quella utilizzata da Cardano (circa € \$.700.000.000)<sup>87</sup>. Cardano è un progetto comprendente una *Blockchain* decentralizzata e pubblica ed una criptovaluta, denominata ADA, ed è completamente *open source*<sup>88</sup>. La fondazione *no-profit* responsabile di questo progetto è stata la prima, nel mondo delle criptovalute, a riunire una rete di accademici e scienziati di varie università, tra cui l'Università di Edimburgo e il Tokyo Institute of Technology, per rivedere i suoi protocolli prima del loro rilascio.

La piattaforma di Cardano è composta da due strati. Il primo è il Cardano Settlement Layer (CSL), utilizzato per regolare le transazioni che utilizzano ADA.

Il secondo strato è il Cardano Computation Layer (CCL), che è in fase di sviluppo. Esso sarà utilizzato per gli *smart contract*. La struttura gerarchica della rete Cardano garantisce il duplice utilizzo, sia come mezzo di scambio che come piattaforma per generare dei contratti intelligenti. La peculiarità di Cardano è Ouroboros, un algoritmo che utilizza il protocollo *Proof-of-Stake* per estrarre le monete ADA. Il protocollo è personalizzato per ridurre sia il consumo di energia che il tempo per generare nuove monete<sup>89</sup>.

In questo paragrafo sono state esposte le altre nove monete cripto che, insieme a Bitcoin, costituiscono attualmente le dieci criptovalute con la più alta capitalizzazione presenti nel mercato. Finora ci si è limitati ad una descrizione qualitativa dei principali *asset* del mercato, concentrandosi sui servizi offerti sia dai protocolli che dalle monete. Tuttavia, non si è dato spazio ai dati economici e finanziari che caratterizzano le singole valute ed il mercato nel suo complesso, se non nel caso della loro capitalizzazione di mercato. Tutto questo costituisce l'oggetto del prossimo paragrafo.

---

<sup>86</sup> <https://www.investopedia.com/terms/s/stellar-cryptocurrency.asp>

<sup>87</sup> <https://coinmarketcap.com/>

<sup>88</sup> <https://www.cardano.org/en/home/>

<sup>89</sup> <https://www.investopedia.com/cardano-definition-4683961>

## 1.5 Mercato delle criptovalute: evoluzione storica dei prezzi e della capitalizzazione

Il sistema Bitcoin cominciò ad essere operativo a partire dal gennaio 2009 e costituisce la prima rete fondata su una criptovaluta decentralizzata. La seconda moneta cripto, Namecoin, cominciò ad emergere nel mercato non prima di aprile 2011, quindi più di due anni dopo rispetto alla prima. Oggi, esistono migliaia di criptomonete aventi un loro valore di mercato che sono scambiate. Come si è potuto comprendere nel precedente paragrafo, tutte le valute cripto hanno due caratteristiche in comune: la prima è la presenza di un registro pubblico, ossia la *Blockchain*, che è condivisa tra gli utenti della rete; la seconda è l'utilizzo delle monete emesse come mezzo per incentivare i partecipanti a gestire il sistema, in quanto di regola non è presente un'autorità centrale (una delle eccezioni è costituita dal sistema Ripple).

Tuttavia, vi sono delle differenze significative tra le monete cripto rispetto al livello di innovazione offerto. La maggior parte delle criptovalute sono in gran parte cloni di Bitcoin o di altre valute cripto e presentano semplicemente dei valori di parametri comuni diversi (ad esempio il tempo di creazione di un blocco, il numero massimo di monete emesse ed il relativo processo di emissione). Queste monete cripto sono caratterizzate da poca o nessuna innovazione. Al contrario, vi sono anche delle monete cripto che, pur avendo delle caratteristiche in comune con il sistema Bitcoin, forniscono delle funzionalità innovative, differenziandoli sostanzialmente da esso. Queste nuove funzionalità includono sia l'introduzione di nuovi meccanismi di consenso (ad es. *Proof-of-Stake*) che piattaforme decentralizzate aventi anche la possibilità di siglare degli "*smart contract*", consentendo così un utilizzo delle piattaforme non legato esclusivamente alla moneta<sup>90</sup>.

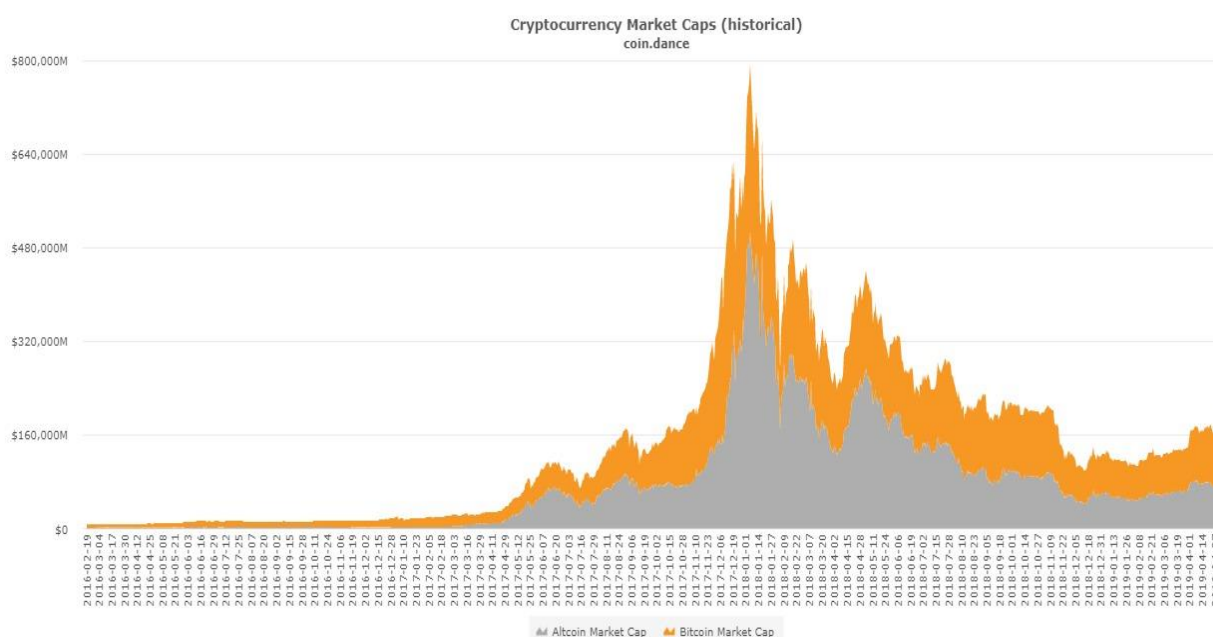
Adesso si osservi l'evoluzione storica della capitalizzazione di mercato nel settore delle monete cripto, paragonata a quella di Bitcoin, mostrata nel grafico sotto riportato (**figura 1.1**). Come si può notare, la capitalizzazione di mercato dell'intero settore è quasi triplicata tra il 20 febbraio del 2016 ed il 20 febbraio del 2017, raggiungendo \$ 20 miliardi complessivi, di cui circa \$ 17 miliardi e mezzo attribuibili a Bitcoin. Tra il 20 febbraio del 2017 ed il 20 febbraio del 2018, la capitalizzazione dell'intero settore aumenta vertiginosamente, diventando dieci volte più alta rispetto alla fine del periodo precedente, e arriva a quasi \$ 218 miliardi. Nello stesso periodo, Bitcoin raggiunge \$ 190 miliardi di capitalizzazione. In particolare, si osservi che in questa finestra temporale, e per la precisione il 6 gennaio del 2018, si registra il valore più alto di capitalizzazione del settore intero ad oggi: \$ 793.502.000.000 complessivi, di cui \$ 508.680.000.000 registrati dal

---

<sup>90</sup> Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). Global cryptocurrency benchmarking study. *Cambridge Centre for Alternative Finance*, 33.

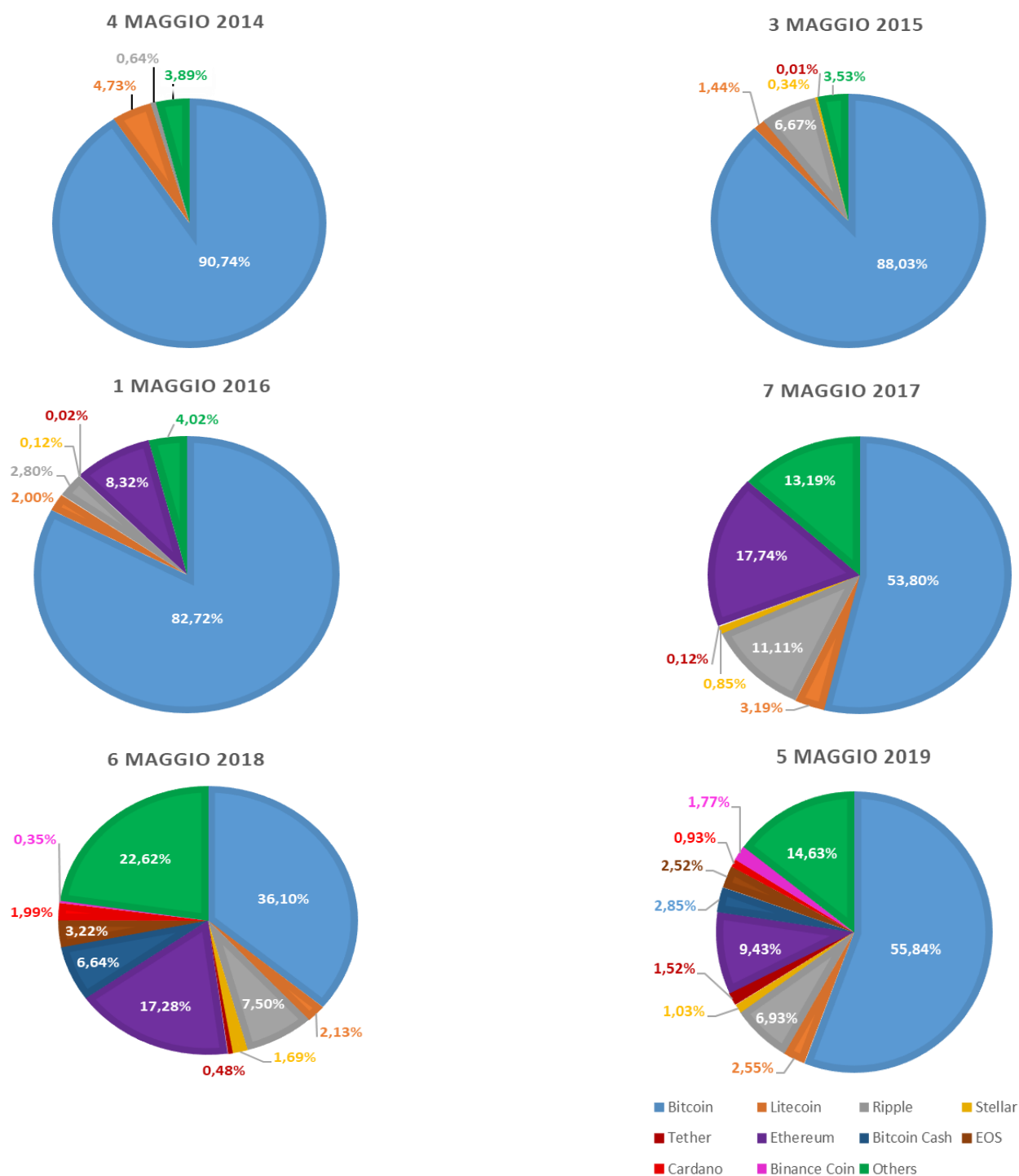
Bitcoin. Tuttavia, tra il 20 febbraio 2018 ed il 20 febbraio del 2019 l'intero mercato delle monete crypto vede ridursi il suo valore complessivo, pari a circa \$ 130 miliardi, mentre la capitalizzazione di Bitcoin si riduce a \$ 70 miliardi, sostenendo così una perdita del 63% rispetto al periodo precedente. Al 30 aprile 2019, sia il mercato delle valute crypto che Bitcoin crescono rispetto a due mesi prima, toccando rispettivamente \$ 169 miliardi e \$ 95 miliardi.

Risulta quindi visibile nella **figura 1.1** come i valori presentati siano di assoluto rilievo, al punto da suscitare l'attenzione dei diversi attori dei mercati finanziari nei confronti di questo mercato emergente e chiedersi se sia possibile istituire un ETF in questo settore emergente ma in forte crescita.



**Figura 1.1.** Evoluzione storica della capitalizzazione di mercato nel settore delle criptovalute, paragonata a quella del Bitcoin. Fonte: coin.dance.com

Bitcoin, sin dalla sua nascita, è la moneta crypto dominante secondo il criterio della capitalizzazione di mercato. Tuttavia, fino ad inizio maggio del 2018, la sua quota di capitalizzazione nel settore era in continua diminuzione, e solo nell'ultimo anno essa ha ripreso ad aumentare. Si osservino i grafici a torta sotto riportati, i quali rappresentano il contributo delle principali criptovalute alla capitalizzazione di mercato dell'intero settore, espressi in termini percentuali. La situazione è stata rilevata il 4 maggio 2014, il 3 maggio 2015, il 1° maggio 2016, il 7 maggio 2017 ed il 6 maggio 2018, sfruttando le schermate del sito web *CoinMarketCap.com*, salvate dal sito stesso, nelle quali sono presenti i principali dati finanziari di tutte le criptovalute esistenti in ciascuna data (**figura 1.2**).



**Figura 1.2.** Evoluzione storica del contributo delle principali criptovalute alla capitalizzazione di mercato dell'intero settore, espressi in termini percentuali. Fonte: elaborazione personale di dati reperiti da CoinMarketCap.

In particolare, Bitcoin passa da una contribuzione del 90,74% al 36,10% nel periodo compreso tra l'inizio maggio del 2014 e l'inizio maggio del 2018, per poi risalire al 55,84% il 5 maggio 2019. È quindi indubbio che le altre criptovalute siano cresciute rispetto al Bitcoin, ritagliandosi sempre più spazio. Tuttavia, Bitcoin rimane ampiamente il leader di questo settore, in base alla capitalizzazione di mercato. Le altre monete cripto rappresentate nei grafici sono quelle valute che

insieme al Bitcoin costituiscono le prime dieci criptomonete presenti nel settore per capitalizzazione di mercato, nel momento in cui questo elaborato è scritto. Infatti, come si può osservare dall'ultimo grafico, relativo alla situazione al 5 maggio 2019, le prime dieci valute crypto contribuiscono all'85% circa della capitalizzazione dell'intero mercato, nel quale possono essere identificate più di 2000 criptomonete secondo *CoinMarketCap*. Poiché alcune di esse sono state create dopo il 4 maggio 2014, queste non sono rilevate in tutti i grafici a torta sopra riportati. Tra le principali valute crypto, si può notare come solo Ripple e soprattutto Ethereum (anzi, più correttamente Ether, la moneta emessa da questa rete), abbiano dato un contributo rilevante alla dimensione del settore delle monete crypto. Infatti, Ripple ha contribuito al 6,67% il 3 maggio 2015, diventando, dopo Bitcoin, la criptovaluta più influente in termini di capitalizzazione, se si prendono in considerazione esclusivamente quell'insieme di valute crypto che attualmente costituiscono la top 10 di questo mercato, in termini di capitalizzazione. Con la nascita di Ethereum, Ripple vede diminuire la sua contribuzione alla capitalizzazione dell'intero mercato delle valute crypto, passando al 2,80% un anno dopo, mentre Ethereum contribuisce per l'8,32%. La prima settimana di maggio 2017 e maggio 2018 costituisce un momento roseo per la piattaforma ideata da Vitalik Buterin. Infatti, essa registra una contribuzione pari, rispettivamente, al 17,74% e 17,28%, mentre Ripple si ferma, rispettivamente, all'11,11% ed al 7,50%. In particolare, nel 2018, Ethereum ha contribuito per quasi la metà rispetto al Bitcoin. Questa prestazione è un risultato importante, in quanto Bitcoin costituisce la criptomoneta più longeva ed è sempre stata la leader di questo mercato, fino a oggi. Inoltre, vi è da considerare che sin da marzo 2010 la moneta bitcoin può essere acquistata e venduta presso le piattaforme di scambio<sup>91</sup>, a differenza di Ether, la moneta del sistema Ethereum, che può essere scambiata a partire da agosto 2015<sup>92</sup>. Di conseguenza, ottenere un risultato simile dopo due anni dal lancio sul mercato di tale criptovaluta attribuisce alla piattaforma creata da Buterin un valore rilevante in questo mercato. Oggi, Bitcoin aumenta il suo contributo rispetto all'anno scorso, arrivando al 55,84%, mentre Ethereum lo riduce al 9,43%. Ripple rimane quasi stabile, passando dal 7,50% al 6,93%. Queste tre valute crypto rimangono tuttora le uniche che contribuiscono per almeno il 5% della intera capitalizzazione di mercato. Infatti, Bitcoin Cash, quarta moneta crypto per contributo alla capitalizzazione, concorre solo per il 2,85%, più di due volte meno rispetto a Ripple.

Qui in basso è riportata una tabella riepilogativa (**figura 1.3**) dei dati finanziari di interesse relative

---

<sup>91</sup> Yermack, D. (2015). Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. In *Handbook of digital currency* (pp. 31-43). Academic Press.

<sup>92</sup> Ammous, S. (2018). Can cryptocurrencies fulfil the functions of money?. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 70, 38-51.

le dieci monete crypto con la più alta capitalizzazione di mercato. I dati sono stati reperiti dal sito web *CoinMarketCap.com* e si riferiscono alla giornata del 5 maggio 2019.

#	Nome	Capitalizzazione di mercato	Quota di capitalizzazione di mercato	Prezzo di chiusura corretto	Volume giornaliero scambiato
1	Bitcoin	\$102.494.420.158	55,84%	\$5.795,71	\$14.808.830.723
2	Ethereum	\$17.317.292.591	9,43%	\$163,45	\$5.938.415.562
3	Ripple	\$12.724.692.457	6,93%	\$0,302342	\$805.245.812
4	Bitcoin Cash	\$5.222.388.151	2,85%	\$293,95	\$1.995.769.808
5	Litecoin	\$4.683.927.727	2,55%	\$75,98	\$2.650.746.461
6	EOS	\$4.624.937.770	2,52%	\$4,90	\$1.735.122.033
7	Binance Coin	\$3.249.853.031	1,77%	\$23,02	\$171.107.466
8	Tether	\$2.786.657.649	1,52%	\$1,00	\$12.450.308.259
9	Stellar	\$1.892.994.497	1,03%	\$0,098927	\$205.158.493
10	Cardano	\$1.714.978.394	0,93%	\$0,066146	\$49.098.473

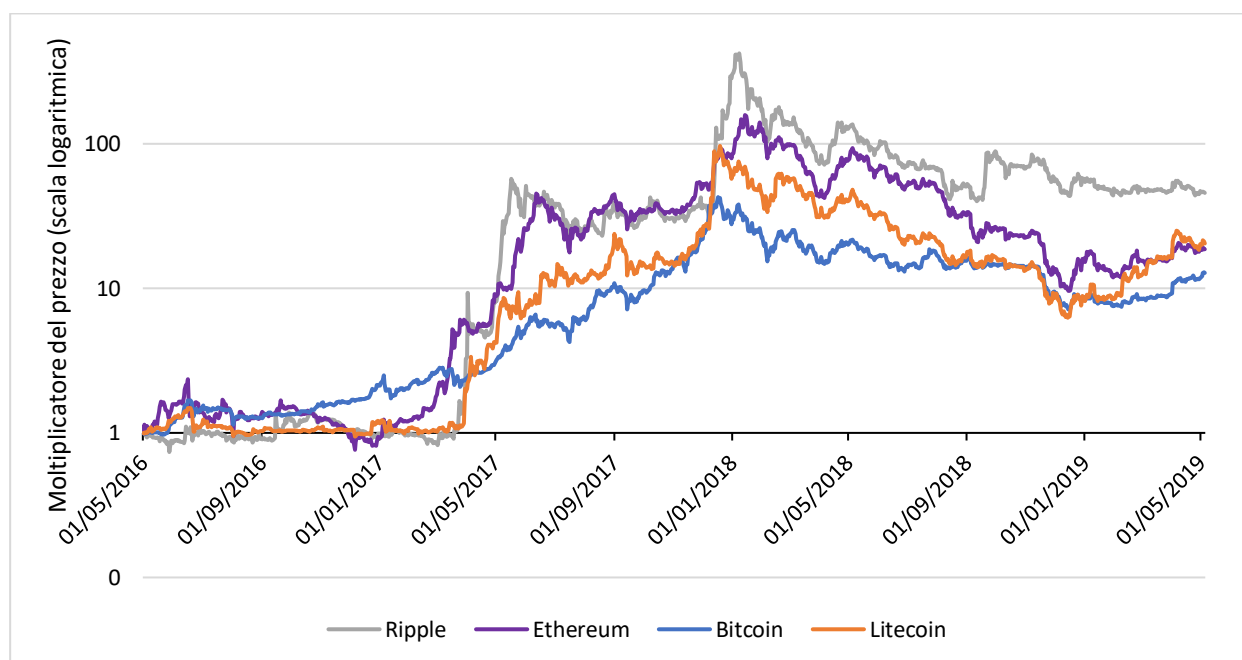
**Figura 1.3.** Principali dati finanziari relative le dieci valute crypto con la più alta capitalizzazione di mercato osservati il 5 maggio 2019. Fonte: *CoinMarketCap*.

Come si può osservare dalla **figura 1.3**, tra le criptovalute più influenti nel mercato, Bitcoin costituisce l'*asset* con il prezzo più alto. Infatti, il suo prezzo di chiusura corretto registrato nella giornata del 5 maggio 2019 è pari a \$5.795,71. Invece, il prezzo di chiusura corretto registrato nella stessa giornata da Ethereum è pari a \$163,45, quasi trentasei volte meno rispetto alla moneta crypto ideata da Nakamoto. Un prezzo di chiusura più basso è registrato per Litecoin, pari a \$75,98. Ripple, terza moneta crypto per capitalizzazione di mercato, chiude la giornata di negoziazione del 5 maggio 2019 con un prezzo di \$0,302342, ossia quasi ventimila volte meno rispetto a Bitcoin. Nonostante Bitcoin sia la moneta crypto con il valore più elevato attualmente ma anche storicamente, sulla base di dati reperibili dai principali siti web che forniscono quotazioni delle valute crypto, come *CoinMarketCap*, *CoinGecko*, *CryptoCompare* e *Yahoo Finance*, essa non è quella che negli ultimi due anni ha visto il suo prezzo crescere più di tutti. Ciò può essere osservato dalla **figura 1.4**, che rappresenta l'evoluzione dei prezzi di chiusura di Bitcoin, Ethereum, Ripple e Litecoin dal maggio 2016 ad oggi.

Il grafico è stato costruito utilizzando le serie storiche dei prezzi di chiusura su base giornaliera, denominati in dollari statunitensi, delle quattro monete crypto. Il periodo considerato inizia il 1° maggio 2016 e termina il 5 maggio 2019. La scala del grafico è logaritmica in base dieci, in modo

da risultare più agevole la rappresentazione simultanea delle serie storiche. Nell'asse verticale sono rappresentati i moltiplicatori del prezzo, in scala logaritmica. Essi mostrano l'evoluzione dei prezzi relativi le criptovalute rappresentate a partire dal 1° maggio 2016. Quindi, ogni moneta ha un moltiplicatore del prezzo pari a 1 in quella data. Un valore maggiore di 1 significa che il prezzo di una determinata valuta è aumentato di quel valore. Al contrario, un valore minore di 1 significa che il prezzo è diminuito in quella finestra temporale.

L'orizzonte temporale considerato è stato scelto sia perché esso non è di breve periodo, così da poter osservare un andamento più o meno definito delle serie storiche, sia perché in questo modo era possibile disporre di dati su Ethereum, moneta troppo importante a causa della sua alta capitalizzazione affinché potesse essere esclusa da questa analisi.



**Figura 1.4.** Evoluzione prezzi di Bitcoin, Ethereum, Ripple e Litecoin da maggio 2016 ad oggi.  
Fonte: elaborazione personali di dati reperiti da Yahoo Finance.

Come si può notare, da aprile 2017, Ethereum, Ripple e Litecoin hanno un tasso di crescita dei prezzi più alto rispetto al Bitcoin. In particolare, Ripple è la moneta che ha visto il suo prezzo crescere più di tutte le altre, mentre Ethereum e Litecoin sono cresciuti più o meno allo stesso tasso, nonostante fino alla prima settimana di marzo 2019 la seconda moneta per capitalizzazione avesse avuto sempre un tasso di crescita più alto rispetto alla valuta creata da Charles Lee.

È da evidenziare come tutte le quattro monete hanno visto il loro prezzo aumentare negli ultimi tre anni. In particolare, hanno registrato la loro crescita massima da inizio maggio verso la fine di dicembre 2017 e l'inizio di gennaio 2018. Successivamente, i loro moltiplicatori sono diminuiti, e tutt'ora non sono ai livelli massimi registrati. Tuttavia, tutte le monete hanno avuto storicamente da aprile 2017 dei moltiplicatori dei prezzi maggiori di 1, e dopo aver raggiunto il loro picco la



loro diminuzione non è stata tale da scendere sotto l'unità. In data 5 maggio 2019 Ripple ha un moltiplicatore di prezzo pari a 45,7. Quindi, il prezzo di chiusura di Ripple registrato in quel giorno è 45,7 volte più grande di quello osservato il 1° maggio 2016. Analogo discorso vale per le altre tre monete cripto. In particolare, il moltiplicatore del prezzo di un Litecoin osservato il 5 maggio 2019 è pari a 20,5, mentre il prezzo di chiusura di un Ether rilevato in data 5 maggio 2019 è 18,7 volte più alto rispetto a quello registrato il 1° maggio 2016. Infine, il moltiplicatore del prezzo di un Bitcoin osservato il 5 maggio 2019 è pari a 12,8.

Con l'analisi del mercato delle valute cripto sopra presentata si conclude questo capitolo dedicato a tali beni. Nel prossimo capitolo, saranno definiti i caratteri essenziali di un *exchange-traded fund* e sarà illustrata la metodologia applicata in questo elaborato, al fine di poter analizzare la prestazione di un indice rappresentativo del mercato delle valute cripto e la possibile implementazione di un ETF che tenti la replicazione di tale indice.

## CAPITOLO 2

### Definizione di un *exchange-traded fund* e metodologia utilizzata

#### 2.1 Il concetto di diversificazione nella teoria di selezione di portafoglio di Markowitz

Nel primo capitolo si è discusso del mercato delle monete cripto, ed è stato mostrato come Bitcoin valga più della metà dell'intero settore, nonostante la sua quota sia diminuita nel tempo. Di conseguenza, si potrebbe concludere in maniera semplicistica che un individuo desideroso di investire in questo mercato non abbia la necessità di costruire un portafoglio di monete cripto, ma risulterebbe sufficiente collocare le proprie disponibilità finanziarie esclusivamente presso la valuta cripto creata da Nakamoto al fine di seguire in maniera accettabile la direzione del settore. Tuttavia, questa affermazione non trova alcun fondamento né nella letteratura economica e finanziaria esistente, né nei risultati empirici sul tema qui trattato finora esistenti.

Infatti, Harry Markowitz, economista statunitense insignito del premio Nobel per l'Economia nel 1990, e considerato il padre della teoria moderna del portafoglio finanziario, espose un modello di costituzione del portafoglio nel suo celebre articolo denominato "*Portfolio Selection*", pubblicato sul *Journal of Finance* nel 1952, non compatibile con quanto ipotizzato sopra.

In questa teoria, Markowitz dimostrò come una persona massimizza il suo rendimento atteso investendo non in un singolo titolo, bensì in un portafoglio di strumenti finanziari diversificato. L'economista statunitense giunse alla conclusione sopra citata attraverso il seguente ragionamento matematico. Invero, tra le ipotesi che costituiscono questo modello, le misure statistiche del valore atteso e della varianza sono gli unici parametri che gli individui analizzano per decidere le loro strategie di investimento.

Il rendimento di un titolo finanziario può essere rappresentato, mediante il linguaggio matematico, come una variabile casuale  $Y$ , ossia una variabile che può assumere diversi valori ciascuno con una probabilità, ipotizzata fissa per ciascun possibile valore. Supponiamo, per semplicità di esposizione, che  $Y$  possa assumere un numero finito di valori  $y_1, y_2, \dots, y_N$ . La probabilità che  $Y = y_1$  è  $p_1$ , la probabilità che  $Y = y_2$  è  $p_2$  e così via. Il valore atteso di  $Y$  è definito come

$$E = p_1 y_1 + p_2 y_2 + \dots + p_N y_N$$

La varianza di  $Y$  è definita come

$$V = p_1 (y_1 - E)^2 + p_2 (y_2 - E)^2 + \dots + p_N (y_N - E)^2$$

$V$  è la deviazione quadratica media di  $Y$  dal suo valore atteso.  $V$  è una misura di dispersione

comunemente utilizzata in statistica e finanza.

Adesso supponiamo di avere un insieme finito di variabili casuali:  $X_1, \dots, X_n$ . Se  $R$  è una somma pesata (ossia una combinazione lineare) dell'insieme finito di variabili casuali  $X_i$ , allora

$$R = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

e quindi anche  $R$  è una variabile casuale.

Nel modello di portafoglio di Markowitz, la variabile casuale  $R$  rappresenta il portafoglio, mentre l'insieme finito di variabili casuali  $X_1, \dots, X_n$  costituiscono l'insieme degli strumenti finanziari al suo interno. Infine, i coefficienti  $a_1, \dots, a_n$  compongono i pesi del portafoglio<sup>93</sup>. Se si ipotizza che gli strumenti finanziari che un investitore desidera inserire nel proprio portafoglio non possano essere venduti allo scoperto<sup>94</sup>, allora la somma totale dei pesi deve essere uguale a 1:  $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ . Il valore atteso di una combinazione lineare è la somma pesata dei valori attesi delle variabili casuali che la compongono

$$E(R) = a_1E(X_1) + a_2E(X_2) + \dots + a_nE(X_n)$$

per poter invece definire la varianza di una combinazione lineare è necessario prima presentare un altro concetto statistico: la covarianza. La covarianza tra due variabili  $X_i$  e  $X_j$  è

$$\sigma_{ij} = E\{[X_i - E(X_i)][X_j - E(X_j)]\}$$

quindi essa può essere definita come il valore atteso delle deviazioni dei valori assunti dalla variabile  $X_i$  dal valore atteso di  $X_i$  moltiplicate per le deviazioni dei valori assunti dalla variabile  $X_j$  dal valore atteso di  $X_j$ .

La covarianza può inoltre essere espressa in relazione al coefficiente di correlazione tra le due variabili casuali  $X_i$  e  $X_j$  ed alla deviazione standard di entrambe le variabili. In maniera generica, la deviazione standard (o scarto quadratico medio) di una variabile casuale  $Y$  può essere definita come la radice quadrata della varianza di  $Y$  ( $\sigma_Y = \sqrt{V(Y)}$ ). Invece, il coefficiente di correlazione tra due variabili casuali  $X_i$  e  $X_j$  può essere definito come il rapporto tra la covarianza tra le due

---

<sup>93</sup> Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.

<sup>94</sup> Nelle vendite allo scoperto, una posizione è aperta prendendo in prestito quote di uno strumento finanziario che l'investitore ritiene diminuirà di valore entro una data futura stabilita - la data di scadenza del prestito. L'investitore quindi vende queste quote prese in prestito agli acquirenti disposti a pagare il prezzo di mercato di questa attività. Prima che le quote prese in prestito debbano essere restituite, l'investitore scommette che il prezzo continuerà a diminuire e che può acquistarle a un costo inferiore. In questo caso, l'individuo acquisterà lo strumento finanziario e a scadenza lo consegnerà al prestatore, conseguendo un guadagno. Tuttavia, il rischio di perdita per un investitore che effettua una vendita allo scoperto è teoricamente illimitato poiché il prezzo di qualsiasi attività può aumentare all'infinito.

Fonte: *Investopedia.com* (<https://www.investopedia.com/terms/s/shortselling.asp>).

variabili ed il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili considerate:  $\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}$ <sup>95</sup>. In realtà, esistono diversi indici rappresentanti la correlazione. Tuttavia, l'indice più conosciuto (e qui sopra descritto) è il coefficiente di correlazione di Pearson<sup>96</sup>. Esso misura quanta dipendenza lineare esiste tra due variabili casuali. Esso può assumere un valore numerico compreso tra -1 e +1. Il segno indica se la relazione tra due variabili è positiva (per esempio se le due variabili sono rispettivamente l'altezza ed il peso di una persona) oppure negativa (per esempio se invece le due variabili sono rispettivamente l'essere fumatori e l'aspettativa di vita). Viceversa, il valore numerico rappresenta la forza della relazione. Quindi, un coefficiente di correlazione prossimo a 1 (-1) è indice di una forte dipendenza lineare positiva (negativa). Al contrario, un coefficiente di correlazione prossimo a 0 è indice di una debole dipendenza lineare, a prescindere dal segno<sup>97</sup>. Giunti a questo punto, si può definire la varianza di una combinazione lineare, data dalla seguente equazione:

$$V(R) = \sum_{i=1}^N a_i^2 V(X_i) + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{i>1}^N a_i a_j \sigma_{ij} = \sum_{i=1}^N a_i^2 V(X_i) + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{i>1}^N a_i a_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}$$

Se per semplicità consideriamo un portafoglio  $R$  composto da due soli strumenti finanziari,  $X_1$  e  $X_2$ , il suo rendimento atteso sarà

$$E(R) = a_1 E(X_1) + a_2 E(X_2)$$

e la sua varianza sarà

$$V(R) = a_1^2 V(X_1) + a_2^2 V(X_2) + 2a_1 a_2 \sigma_{12} = a_1^2 V(X_1) + a_2^2 V(X_2) + 2a_1 a_2 \sigma_1 \sigma_2 \rho_{12}$$

Se i due titoli finanziari all'interno del portafoglio sono perfettamente correlati positivamente, ossia  $\rho_{12} = 1$ , allora la formula dello scarto quadratico medio del portafoglio è un quadrato perfetto

$$\sigma_R = \sqrt{V(R)} = \sqrt{a_1^2 V(X_1) + a_2^2 V(X_2) + 2a_1 a_2 \sigma_1 \sigma_2} = a_1 \sigma_1 + a_2 \sigma_2$$

Quindi, siccome  $-1 \leq \rho_{ij} \leq 1$ , allora la deviazione standard di un portafoglio composto da due titoli finanziari è sempre minore o uguale alla somma ponderata delle deviazioni standard dei singoli strumenti

$$\sigma_R \leq a_1 \sigma_1 + a_2 \sigma_2$$

<sup>95</sup> Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.

<sup>96</sup> Black, K. (2011). *Business statistics: for contemporary decision making*. John Wiley & Sons.

<sup>97</sup> Witte, R. S., & Witte, J. S. (2013). *Statistics*. John Wiley & Sons.

Di conseguenza, nonostante ad una riduzione del rischio di solito consegua una riduzione del rendimento atteso, sarà possibile definire i pesi del portafoglio in modo tale che tale riduzione non sia proporzionale, aumentando così il rendimento atteso data una determinata varianza (oppure minimizzare la varianza dato un determinato rendimento atteso).

In altre parole, Markowitz dimostrò come portafogli di titoli con un coefficiente di correlazione minore di 1 offrano sempre migliori opportunità rischio-rendimento rispetto a quelle offerte dai singoli strumenti finanziari. Inoltre, questo effetto è più ampio se i titoli sono poco correlati tra loro (quindi se  $\rho$  assume un valore assoluto vicino a zero) o, ancora meglio, se i titoli sono caratterizzati da una elevata correlazione negativa (quindi se  $\rho$  assume un valore vicino a -1)<sup>98</sup>.

Come è stato appena dimostrato, la tesi secondo cui sembrerebbe sufficiente acquistare esclusivamente Bitcoin per conseguire una strategia efficiente di investimento non risulterebbe corretta. In aggiunta, anche l'evidenza empirica ha provato che, al contrario di quanto si potrebbe pensare sulla base dell'analisi del mercato qui presentata nel primo capitolo, sussistono le condizioni attraverso le quali una strategia di composizione di un portafoglio di diverse criptovalute possa risultare più efficiente del solo acquisto del bene dominante il mercato oggetto di questa trattazione.

Difatti, Hermann Elendner (oggi professore alla Università *Humboldt* di Berlino), Simon Trimborn (attualmente ricercatore presso l'*Università Nazionale di Singapore*), Bobby Ong (co-fondatore di *CoinGecko*, uno dei primi e più importanti aggregatori di dati sulle monete cripto<sup>99</sup>) e Teik Ming Lee (altro co-fondatore di *CoinGecko*), hanno studiato le prime dieci valute cripto per capitalizzazione di mercato nel periodo temporale compreso tra il 30 marzo 2014 ed il 24 luglio 2016 ed hanno scoperto che i rendimenti di tali strumenti finanziari registrati in questo orizzonte temporale sono debolmente correlati l'uno con l'altro<sup>100</sup>. Secondo Trimborn e Wolfgang Karl Härdle (professore di statistica alla Università *Humboldt* di Berlino), questo risultato porta alla conclusione che Bitcoin, anche se domina il settore in termini di capitalizzazione, non guida il mercato. Anche i movimenti delle altre monete sono importanti quando si analizza il mercato delle criptovalute<sup>101</sup>. Il risultato ottenuto da Elendner, Trimborn, Ong e Lee è ulteriormente rilevante in quanto la capitalizzazione di Bitcoin era almeno pari all'80% di quella dell'intero mercato, nel

---

<sup>98</sup> Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.

<sup>99</sup> <https://www.coingecko.com/en/about>

<sup>100</sup> Elendner, H., Trimborn, S., Ong, B., & Lee, T. M. (2016). *The cross-section of crypto-currencies as financial assets: An overview* (No. 2016-038). SFB 649 Discussion paper.

<sup>101</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

periodo analizzato dai quattro accademici. Infatti, nonostante la notevole dominanza della valuta creata da Nakamoto, risulta necessario considerare anche le altre criptomonete esistenti le quali, seppur rappresentano una piccola fetta di mercato, hanno un peso rilevante nel determinare la direzione ed il valore di questo mercato emergente.

Nonostante quanto appena detto, nessuna società o sito web che si occupa di creare degli indici finanziari rappresentanti determinati settori aveva ancora definito a fine 2016 un *benchmark* del settore delle monete cripto esistenti nonostante questo nuovo mercato stesse attirando grande interesse pubblico.

Per questo, Trimborn e Härdle, nel loro articolo “*CRIX an Index for blockchain based Currencies*”, hanno tentato di costruire un indice rappresentativo di questo settore, introducendo in primo luogo l’argomento in questione e adattando le basi della costruzione degli indici allo specifico mercato analizzato. Successivamente, i due autori descrivono la metodologia utilizzata per la costruzione di un indice dinamico, poiché il mercato delle monete cripto mostra una struttura frequentemente in evoluzione con molte valute illiquide. In seguito, Trimborn e Härdle espongono altri due indici al fine di creare una famiglia di indici rappresentanti il settore. Poi, i due accademici testano le prestazioni degli indici costruiti. Infine, il nuovo metodo è applicato ai mercati azionari tedesco e messicano per verificare l’andamento della metodologia rispetto agli indici esistenti in questi mercati finanziari.

Gli autori riescono a costruire degli indici con delle proprietà stabili. I risultati mostrano che un mercato come quello delle valute cripto - momentaneamente dominato da Bitcoin - ha bisogno di un indice rappresentativo poiché Bitcoin non guida il mercato. Infatti, nei ventisette trimestri analizzati da Trimborn e Härdle (nove per ognuno dei tre indici costituenti la famiglia di indici sulle criptomonete), solo in due trimestri uno dei tre indici è costituito unicamente dalla moneta creata da Nakamoto. Inoltre, il metodo creato dai due accademici, a seguito della sua applicazione sia al mercato azionario tedesco che a quello messicano, fornisce un *benchmark* più accurato in entrambi i mercati, in particolare nel secondo.

Quindi, i due autori sostengono che la metodologia da loro utilizzata migliora la costruzione di un indice se l’obiettivo è trovare un *benchmark* con pochi strumenti finanziari, liquido e rappresentativo del mercato analizzato<sup>102</sup>. Trimborn e Härdle definiscono una metodologia e costruiscono una famiglia di indici rappresentativi del mercato delle valute cripto, tuttavia non

---

<sup>102</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). *CRIX an Index for blockchain based Currencies*. *Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)*

indagano sulla possibile creazione di un *exchange-traded fund* che possa replicare tali indici<sup>103</sup>, né tantomeno applicano tecniche di statistica descrittiva, al fine di fornire una rappresentazione sommaria dei risultati ottenuti dai due accademici nella loro pubblicazione.

Costituisce invece l'obiettivo di questa trattazione poter compiere una indagine preliminare riguardante la fattibilità e la performance di un *exchange-traded fund* in questo settore. Per questo, prima di tutto sarà definito in maniera generale in cosa consiste un ETF. Successivamente, sarà creato l'indice che l'ETF dovrà cercare di replicare. Per questa costituzione sarà utilizzata la stessa metodologia implementata da Trimborn e Härdle nel loro articolo "*CRIX an Index for blockchain based Currencies*". Tuttavia, in questo elaborato si andrà oltre. Prima di tutto, si esaminerà e si commenterà l'andamento storico dell'indice di mercato, sfruttando le principali statistiche descrittive. Inoltre, si darà spazio anche ad una valutazione del rischio del CRIX, effettuata non solamente mediante il calcolo della volatilità attraverso la deviazione standard dei rendimenti logaritmici giornalieri, ma anche con la stima del *Value at Risk* e della *Expected Shortfall*, così da poter analizzare anche le situazioni estreme. Successivamente, si presenterà un test di correlazione di Pearson dell'indice costruito con le principali classi di investimento, ed infine si analizzerà il livello di liquidità del mercato oggetto di questa trattazione.

In particolare, in questo capitolo sarà esposta la metodologia utilizzata per poter compiere tutte le analisi sopra elencate.

## 2.2 Definizione di un *exchange-traded fund*

Un *exchange-traded fund* (in sigla ETF) è un fondo, creato da una società che si occupa di gestirlo, costituito da un insieme di titoli finanziari il quale tenta di replicare un predeterminato indice finanziario (per esempio lo *Standard & Poor's 500*). All'interno di un ETF vi possono essere diverse tipologie di strumenti di investimento, come azioni, obbligazioni e *commodity*<sup>104</sup>. Per creare nuove quote di un *exchange-traded fund*, un'istituzione finanziaria legittimata (ossia il partecipante autorizzato) acquista titoli appartenenti all'indice di riferimento dell'ETF sul mercato e li cede alla società che gestisce l'ETF in cambio di quote di tale fondo. Tali quote sono poi vendute sul mercato secondario o detenute dall'istituzione finanziaria. Al contrario, per rimborsare delle quote già esistenti di un ETF, un partecipante autorizzato acquista delle quote dell'*exchange-traded fund* sul mercato secondario e li cede alla società che gestisce l'ETF in cambio di titoli

---

<sup>103</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

<sup>104</sup> <https://www.investopedia.com/terms/e/etf.asp>

appartenenti all'indice di riferimento dell'ETF. Tali titoli sono poi venduti sul mercato o detenuti dall'istituzione finanziaria.

Una delle peculiarità distintive di tale tipologia di fondo è che una sua quota può essere acquistata e venduta in Borsa, come un titolo azionario. Quindi, un investitore può negoziare quote di ETF in un qualsiasi momento della giornata, quando la Borsa è aperta. Il prezzo di una quota di un ETF può essere differente dal *Net Asset Value* (NAV) di tale fondo. Tuttavia, tale differenza si riduce all'aumentare della capacità da parte delle istituzioni finanziarie legittimate nel creare e rimborsare le quote di un *exchange-traded fund*<sup>105</sup>.

Il NAV di una quota è il rapporto tra la differenza tra le attività e le passività di un'istituzione, come un fondo comune d'investimento, ed il numero di quote esistenti di tale fondo<sup>106</sup>.

Un'altra caratteristica principale degli ETF è che le sue quote possono essere acquistate al margine e vendute allo scoperto. Quanto detto nell'ultima frase, unitamente all'acquisto ed alla vendita della quota di un *exchange-traded fund* presso una Borsa, costituiscono le differenze tra essi ed i fondi comuni di investimento. Infatti, questi ultimi non possono essere acquistati e venduti allo scoperto, e possono essere negoziati solamente una volta al giorno, dopo le chiusure delle Borse, ad un prezzo pari al *Net Asset Value* (NAV) reso pubblico ogni giorno<sup>107</sup>.

Acquistando una quota di un ETF è possibile investire su di un intero indice di mercato in tempo reale e ad un prezzo che riflette perfettamente il valore del fondo in quel preciso momento. Inoltre, tale strumento finanziario consente di ottenere un rendimento pari all'indice benchmark di riferimento, nel caso di un ETF a gestione passiva (vi sono diverse strategie applicate dai gestori di ETF: in questa trattazione si sottintende, quando si parla di tale fondo, che esso abbia una strategia passiva, replicando esattamente la composizione ed i pesi dell'indice di riferimento).

Gli *exchange-traded fund* presentano una commissione totale annua modesta ed applicata automaticamente in proporzione al periodo di detenzione, mentre non devono essere versate delle commissioni di entrata, di uscita e di performance da parte di un investitore. Quest'ultimo deve pagare solamente le commissioni applicate dal proprio broker per l'acquisto e la vendita sul mercato<sup>108</sup>.

Date le caratteristiche sopra elencate, gli ETF si prestano a varie modalità d'impiego: da investimento di medio e lungo termine a trading anche di tipo intraday, fino alla vendita allo scoperto, finalizzata

---

<sup>105</sup> Poterba, J. M., & Shoven, J. B. (2002). Exchange-traded funds: A new investment option for taxable investors. *American Economic Review*, 92(2), 422-427.

<sup>106</sup> <https://www.investopedia.com/terms/n/nav.asp>

<sup>107</sup> Poterba, J. M., & Shoven, J. B. (2002). Op. cit.

<sup>108</sup> <https://www.borsaitaliana.it/etf/formazione/cosaeunetf/coseunetf.htm>



ad avere una posizione ribassista sull'indice di riferimento.

Tuttavia, non deve essere dimenticato che gli ETF sono esposti al rischio che gli strumenti al suo interno perdano valore<sup>109</sup>.

## 2.3 Costruzione dell'indice del mercato delle criptovalute: il CRIX

In primo luogo, risulta necessario definire il termine *benchmark*: un *benchmark* è una misura che consiste in una selezione, nel nostro caso, di criptovalute in grado di rappresentare adeguatamente il mercato<sup>110</sup>.

Le società fornitrici di indici li costruiscono seguendo la definizione sopra scritta, con un numero fisso di componenti. I principali esempi di queste società sono costituiti da *FTSE Russell*<sup>111</sup>, *S&P Dow Jones Indices*<sup>112</sup> e *Deutsche Boerse AG*<sup>113</sup>. Tuttavia, i mercati non sono statici, bensì hanno una loro evoluzione, la quale potrebbe implicare la necessità di modificare il numero scelto di componenti dell'indice, al fine di darne la miglior rappresentazione. Ciò richiede una configurazione dinamica del *benchmark*, in particolare per il suo numero di componenti. In altre parole, è fondamentale implementare un indice il cui numero di componenti possa variare nel tempo, coerentemente con l'evoluzione del mercato che rappresenta. Pertanto, è necessario un approccio diverso da quelli utilizzati dalle principali società fornitrici di indici, il quale consenta all'indice di essere reattivo ai cambiamenti della struttura del mercato.

Inoltre, il *benchmark* è pensato per essere investibile attraverso strumenti finanziari in grado di poterlo replicare fedelmente.

Invece, per quanto riguarda la scelta del portafoglio, tra portafogli di investimento con pari *performance*, è preferibile quello con il minor numero di *asset*<sup>114</sup>.

L'idea che sta alla base di ogni indice di prezzo è quella di ponderare i prezzi dei beni che lo compongono con le quantità dei beni acquistati o consumati. L'indice di *Laspeyres*, formulato per la prima volta dall'economista e statistico tedesco Ernst Louis Étienne Laspeyres, prende il valore di un paniere di  $k$  beni e lo confronta con un periodo base:

---

<sup>109</sup> <https://www.borsaitaliana.it/etf/formazione/cosaeunetf/coseunetf.htm>

<sup>110</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

<sup>111</sup> *FTSE UK Index Series*. <https://www.ftserussell.com/products/indices/uk>

<sup>112</sup> *Index Mathematics Methodology - S&P Dow Jones Indices*. <https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-sp-us-indices.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>113</sup> *Guide to the Equity Indices of Deutsche Boerse*. [https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide\\_Equity\\_Indices.pdf](https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide_Equity_Indices.pdf)

<sup>114</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

$$P_{0t}^L(k) = \frac{\sum_{i=1}^k P_{it} Q_{i0}}{\sum_{i=1}^k P_{i0} Q_{i0}}$$

con  $P_{it}$  il prezzo del bene  $i$  al tempo  $t$  e  $Q_{i0}$  la quantità del bene  $i$  al tempo  $0$  (il periodo base, in questo caso). Per gli indici rappresentativi di un mercato azionario, come il S&P500 o il DAX, la quantità  $Q_{i0}$  è il numero di azioni del bene  $i$  nel periodo base. Moltiplicato con il suo prezzo corrispondente, il prodotto ottenuto è la capitalizzazione di mercato. Quindi, i componenti dell'indice sono ponderati per le loro rispettive capitalizzazioni di mercato. Tuttavia, i mercati cambiano. Una società che era influente per gli sviluppi del mercato ieri potrebbe non essere più importante oggi. Oltretutto, una azienda può finire in bancarotta, oppure può aumentare il numero delle sue azioni in circolazione, o ancora la negoziazione delle sue azioni può diventare poco frequente. Tutte queste situazioni dovrebbero produrre un cambiamento nella struttura dell'indice, in modo che il mercato sia ancora adeguatamente rappresentato. Quindi tali aziende dovrebbero essere rimosse dall'indice e dovrebbero essere sostituite da altre. La formula di Laspeyres succitata non può gestire interamente tali eventi poiché un cambiamento dei componenti comporterebbe una variazione del valore dell'indice non dovuta a delle mutazioni di prezzo<sup>115</sup>. Pertanto, gli indici dei prezzi come il DAX<sup>116</sup> o il S&P500<sup>117</sup> utilizzano la formula corretta di Laspeyres. Per questo, anche per la costruzione dell'indice delle criptovalute, denominato CRIX (CRyptocurrency IndeX), ad opera di Trimborn e Härdle è stata utilizzata la seguente formula corretta di Laspeyres:

$$CRIX_t(k, \beta) = \frac{\sum_{i=1}^k \beta_{i,t_l^-} P_{it} Q_{i,t_l^-}}{Divisore(k)_{t_l^-}}$$

con  $P$ ,  $Q$  e  $i$  definiti come prima,  $\beta_{i,t_l^-}$  il fattore di aggiustamento dell'asset  $i$  al tempo  $t_l^-$ ,  $l$  indica che questo è il fattore di aggiustamento  $l$ -esimo, e  $t_l^-$  l'ultimo istante temporale dove abbiamo  $Q_{i,t_l^-}$ ,  $Divisore(k)_{t_l^-}$  e  $\beta_{i,t_l^-}$  aggiornati. Nell'impostazione classica,  $\beta_{i,t_l^-}$  è tale che  $\beta_{i,t_l^-} = 1$  per tutti i beni  $i$  e i fattori di aggiustamento  $l$ <sup>118</sup>. Comunque sia, alcuni indici usano invece un fattore di aggiustamento  $\beta_{i,t_l^-}$  non necessariamente uguale a 1 per raggiungere le massime regole di ponderazione, come ad esempio il DAX<sup>119</sup>.

<sup>115</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

<sup>116</sup> *Guide to the Equity Indices of Deutsche Boerse.* [https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide\\_Equity\\_Indices.pdf](https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide_Equity_Indices.pdf)

<sup>117</sup> *Index Mathematics Methodology - S&P Dow Jones Indices.* <https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-sp-us-indices.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>118</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

<sup>119</sup> *Guide to the Equity Indices of Deutsche Boerse.* [https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide\\_Equity\\_Indices.pdf](https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide_Equity_Indices.pdf)

Il *Divisore* garantisce che l'indice CRIX abbia un valore predefinito al tempo iniziale  $t = 0$ . È definito come

$$\text{Divisore}(k, \beta)_0 = \frac{\sum_{i=1}^k \beta_{i0} P_{i0} Q_{i0}}{\text{valore iniziale}}$$

Il valore iniziale potrebbe essere qualsiasi numero possibile: comunemente la scelta ricade tra 100, 1000 o 10000. Trimborn e Härdle hanno adottato come valore iniziale 1000. Tale numero assicura che una qualsiasi variazione positiva o negativa rispetto al periodo base sia rilevata. Ogni volta che si verificano delle modifiche alla struttura del CRIX, ossia delle modifiche dei valori delle variabili diverse dai prezzi, il Divisore è regolato in modo tale che solo le variazioni dei prezzi possono influenzare i valori assunti dall'indice. Definiti  $k_1$  e  $k_2$  come numero di componenti, risulta che

$$\frac{\sum_{i=1}^{k_1} \beta_{i,t_{i-1}^-} P_{i,t_{i-1}^-} Q_{i,t_{i-1}^-}}{\text{Divisore}(k_1, \beta)_{t_{i-1}^-}} = \text{CRIX}_{t_{i-1}^-}(k_1, \beta) = \text{CRIX}_t(k_2, \beta) = \frac{\sum_{j=1}^{k_2} \beta_{j,t}^- P_{j,t}^- Q_{j,t}^-}{\text{Divisore}(k_2, \beta)_{t_{i-1}^-}} \quad 120$$

Tuttavia, negli indici come il FTSE<sup>121</sup>, il S&P500<sup>122</sup> od il DAX<sup>123</sup> il numero dei membri componenti è fissato, quindi  $k_1 = k_2$ .

I componenti dell'indice CRIX sono scelti utilizzando un approccio *top-down*, quindi sono incluse le più grandi società per capitalizzazione di mercato. Tuttavia, può sorgere il dubbio che ulteriori *asset*, non appartenenti all'indice, possano descrivere il mercato più appropriatamente<sup>124</sup>. Invero, si potrebbe fare riferimento ad indici di mercato totali come l'indice S&P Total Market<sup>125</sup>, i quali forniscono una descrizione completa dei rispettivi settori. Ciò nonostante, la prassi finanziaria ha dimostrato che indici con meno componenti come lo S&P500 ricevono più attenzione nella valutazione delle oscillazioni dei rispettivi mercati. È quindi interessante sapere quali sarebbero gli *asset* rappresentativi in un mercato e quale numero ridotto di componenti dell'indice faciliterebbe la gestione di un portafoglio che tenti di replicarlo.

Quanto detto sopra solleva la domanda riguardante il numero di componenti  $k$  ottimale per costruire un *benchmark* investibile per il mercato. Inoltre, soprattutto i mercati giovani e innovativi

<sup>120</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

<sup>121</sup> *FTSE UK Index Series*. <https://www.ftserussell.com/products/indices/uk>

<sup>122</sup> *Index Mathematics Methodology - S&P Dow Jones Indices*. <https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-sp-us-indices.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>123</sup> *Guide to the Equity Indices of Deutsche Boerse*. [https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide\\_Equity\\_Indices.pdf](https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide_Equity_Indices.pdf)

<sup>124</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

<sup>125</sup> S&P U.S. Indices Methodology. <https://www.spindices.com/indices/equity/sp-total-market-index-tmi>

possono cambiare la loro struttura nel tempo. Pertanto, è richiesta una quantificazione di un accurato indice delle criptovalute con un numero limitato di elementi costitutivi. Dato che questo mercato mostra una struttura che cambia frequentemente con un numero enorme di monete crypto illiquide, è applicato un criterio di selezione dei componenti dell'indice che varia nel tempo<sup>126</sup>.

Poiché l'intento di CRIX sarebbe quello di diventare un *benchmark* per il mercato delle valute crypto, ossia un parametro di riferimento oggettivo attraverso il quale poter monitorare tale mercato<sup>127</sup>, è necessario quantificare la dimensione di questo settore.

Per questo, Trimborn e Härdle hanno definito il *Total Market* (TM) come l'insieme di tutte le criptomonete esistenti. Il valore di *TM* è dato dalla sommatoria dei valori di mercato delle valute.

Per confrontarlo con un suo possibile benchmark, *TM* è normalizzato da un *Divisore*,

$$TM(K)_t = \frac{\sum_{i=1}^K P_{it} Q_{i,t}^-}{Divisore(K)_{t^-}}$$

con  $K$  che esprime il numero di tutte le valute crypto esistenti. Si noti che nella formula appena citata non viene utilizzato alcun fattore di aggiustamento.

Poiché il valore di  $TM(K)_t$  è sconosciuto e non misurabile a causa della mancanza di informazioni relative ad alcune criptomonete, come per esempio il prezzo, la quantità in circolazione ed il volume di scambio, sarà utilizzato come sua approssimazione il *Total Market Index*<sup>128</sup>. Tale indice è ispirato agli indici di mercato totali: il *S&P Total Market Index*<sup>129</sup> ed il *Wilshire 5000*<sup>130</sup> ne costituiscono due importanti esempi. Infatti, questi ultimi includono al loro interno tutti i titoli azionari dei loro mercati di riferimento per i quali sono disponibili i prezzi.

Il *Total Market Index* (*TMI*) contiene tutte le valute crypto esistenti per i quali sono disponibili i prezzi. Tali monete sono ponderate in base alla loro capitalizzazione di mercato.

$$TMI_t(k_{max}) = \frac{\sum_{i=1}^{k_{max}} P_{it} Q_{i,t}^-}{Divisore(k_{max})_{t^-}}$$

dove  $k_{max}$  rappresenta il massimo numero di criptovalute per le quali sono disponibili dati, con  $k_{max} \leq K$ .

Adesso, si definiscano i rendimenti logaritmici:

$$\epsilon(k_{max})_t^{TMI} = \ln\{TMI_t(k_{max})\} - \ln\{TMI_{t-1}(k_{max})\}$$

<sup>126</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

<sup>127</sup> <https://www.borsaitaliana.it/borsa/glossario/benchmark.html>

<sup>128</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

<sup>129</sup> S&P U.S. Indices Methodology. <https://www.spindices.com/indices/equity/sp-total-market-index-tmi>

<sup>130</sup> Wilshire 5000 Total Market Index Methodology. <https://wilshire.com/Portals/0/analytics/indexes/methodology/wilshire-5000-methodology.pdf>

$$\epsilon(k, \beta)_t^{CRIX} = \ln\{CRIX_t(k, \beta)\} - \ln\{CRIX_{t-1}(k, \beta)\}$$

dove  $CRIX_t(k, \beta)$  è l'indice delle monete cripto  $CRIX$  con  $k$  tipologie di valute al suo interno al tempo  $t$ .

Al fine di ottenere un *benchmark* accurato ed al tempo stesso con un numero ridotto di componenti, bisogna ottimizzare sia il numero di costituenti  $k$  che il valore ed il numero dei fattori di aggiustamento  $\beta$  mediante il seguente problema di minimizzazione della funzione di perdita, data dalla norma euclidea elevata al quadrato della differenza tra i rendimenti logaritmici del  $TMI$  ed i rendimenti logaritmici del  $CRIX$ . Quindi, la funzione scelta da Trimborn e Härdle è quadratica. La motivazione è riconducibile alla capacità di tale funzione di penalizzare fortemente le differenze tra i rendimenti.

$$\begin{aligned} \min_{k, \beta} \|\hat{\epsilon}(k, \beta)\|^2 &= \|\epsilon(k_{max})^{TMI} - \epsilon(k, \beta)^{CRIX}\|^2 = \sum_{t=0}^T (\epsilon(k_{max})^{TMI} - \epsilon(k, \beta)^{CRIX})_t^2 \\ \text{s.t.: } &1 \leq k \leq k^u \\ &k^u \in [1, k_{max}] \\ &s \in [1, k_{max} - k] \\ &\beta^{1 \times (k+s)} = (1, \dots, 1, \beta_{k+1}, \dots, \beta_{k+s})^T \\ &\beta_{k+1}, \dots, \beta_{k+s} \in (-\infty, \infty). \end{aligned}$$

Il problema di minimizzazione sopra citato è caratterizzato da diversi vincoli. L'intento è quello di costruire un indice mediante l'approccio classico di Laspeyres, dove i fattori di aggiustamento sono uguali a uno,  $\beta = 1$ . Invece, sono inclusi i fattori  $\beta_{k+1}, \dots, \beta_{k+s}$  per valutare se aggiungendo altri  $s$  asset all'interno dell'indice si sia in grado di spiegare meglio la differenza tra  $\epsilon(k_{max})^{TMI}$  e  $\epsilon(k, \beta)^{CRIX}$ . Le prime  $k$  tipologie di criptovalute non sono aggiustate da parametri, quindi non è necessario stimarli. Questo rende il primo termine una costante. Al contrario, i parametri dei  $s$  asset successivi devono essere stimati.

La funzione di perdita attesa è definita come

$$E(\|\hat{\epsilon}(k, \beta)\|^2) = \int_{-\infty}^{\infty} \|\hat{\epsilon}(k, \beta)\|_2^2 f\{\hat{\epsilon}(k, \beta)\} d\hat{\epsilon}(k, \beta)$$

Per stimare la densità di probabilità  $f$ , si segue un approccio non parametrico: la stima di densità kernel (*kernel density estimation*)<sup>131</sup>. In particolare, tra i vari metodi di stima non parametrici, è stato scelto il kernel di Epanechnikov, poiché tale metodo possiede un buon bilanciamento tra

<sup>131</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)*

l'ottimizzazione della varianza e le prestazioni<sup>132</sup>.

Seguendo tale approccio, lo stimatore della densità di probabilità  $f$  è derivato dalla seguente formula:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n \text{Epa}\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

dove  $\text{Epa}(u) = \frac{3}{4}(1 - u^2)I(|u| \leq 1)$  è il kernel di Epanechnikov e  $h$  è il parametro di smussamento (*smoothing parameter*). Per definizione,  $\text{Epa}(u) \geq 0$ <sup>133</sup>. La selezione del parametro  $h$  è effettuata con la metodologia implementata da Sheather e Jones<sup>134</sup> ed approfondita da Wand e Jones<sup>135</sup>. Questa tecnica è derivata dalla funzione di perdita *Mean Integrated Squared Error* (MISE).

Per scegliere il numero di componenti dell'indice in grado di rappresentare nella maniera più fedele il mercato delle criptovalute, esistono molteplici tecniche statistiche: per citarne qualcuna, la validazione incrociata (*cross validation, CV*), la validazione incrociata completa (*full cross validation, FCV*), la validazione incrociata generalizzata (*generalized cross validation, GCV*), la validazione incrociata generalizzata completa (*generalized full cross validation, GFCV*) ed il criterio di informazione di Akaike (*AIC*). Ad eccezione dell'ultima statistica nominata, le variabili necessarie per l'applicazione delle tecniche sopra menzionate sono solamente le differenze tra i rendimenti elevate al quadrato. Queste statistiche si avvalgono di poche informazioni fornite dai dati a disposizione.

Al contrario, il test di informazione di Akaike, ideato dallo statistico giapponese Hirotugu Akaike, necessita di più informazioni, in quanto tale tecnica sfrutta la massimizzazione della funzione di verosimiglianza della densità di probabilità della differenza tra i rendimenti di *TMI* ed i rendimenti di *CRIX*, per i fattori di aggiustamento  $\beta$ . Di conseguenza, tale criterio impiega tutti i momenti della distribuzione. Per questo, i due accademici tedeschi hanno fatto ricorso alla tecnica ideata dallo statistico giapponese<sup>136</sup>.

Analiticamente, la massima verosimiglianza è definita dalla seguente formula:

---

<sup>132</sup> Härdle, W. K., Müller M., Sperlich S., & Werwatz A. (2004). *Nonparametric and Semiparametric Models*. Springer Science & Business Media.

<sup>133</sup> Epanechnikov, V. A. (1969). Non-parametric estimation of a multivariate probability density. *Theory of Probability & Its Applications*, 14(1), 153-158.

<sup>134</sup> Sheather, S. J., & Jones, M. C. (1991). A reliable data-based bandwidth selection method for kernel density estimation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 53(3), 683-690.

<sup>135</sup> Wand, M. P., & Jones, M. C. (1994). Multivariate plug-in bandwidth selection. *Computational Statistics*, 9(2), 97-116.

<sup>136</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)*

$$L\{\hat{\varepsilon}(k, \beta)\} = \max_{\beta} \prod_t f\{\hat{\varepsilon}(k, \beta)_t\}$$

Invece, il criterio di informazione di Akaike è espresso dalla seguente equazione:

$$AIC\{\hat{\varepsilon}(k, \beta), s\} = -2\log L\{\hat{\varepsilon}(k, \beta)\} + 2s^{137}$$

Il primo termine fornisce una misura dell'adattamento del modello stimato con quello reale quando sono utilizzati gli stimatori di massima verosimiglianza per i parametri  $\beta$ . Invece, il secondo termine funge da penalità nel caso in cui il valore assunto dal logaritmo della massima verosimiglianza aumenti quando nel modello sono inclusi ulteriori parametri soggetti a stima. In questa trattazione, tali parametri corrispondono ai fattori di aggiustamento delle criptomonete che si aggiungono all'indice<sup>138</sup>.

La prima osservazione che verrebbe spontanea è notare come sia solamente  $s$ , e non  $k+s$ , a definire il numero di costituenti soggetti a penalizzazione. Tuttavia, ciò è conseguenza del fatto che i fattori di aggiustamento dei  $k$  tipi di valute cripto sono fissati uguali ad 1, e quindi non devono essere stimati, a differenza dei parametri delle altre  $s$  monete cripto<sup>139</sup>.

Considerato un insieme di possibili indici differenti tra loro per il numero di componenti, il migliore è quello associato al valore di AIC più piccolo<sup>140</sup>.

Nel caso in cui due indici abbiano lo stesso valore di AIC, dovrebbe essere selezionato l'indice con il minor numero di componenti<sup>141</sup>.

Il test di Akaike riesce a soddisfare al tempo stesso la bontà di adattamento del modello selezionato ai dati osservati e la selezione di un modello non complesso, ossia con un numero ridotto di componenti<sup>142</sup>.

Tuttavia, se il campione di dati non è esteso oppure il numero dei parametri stimati è modesto

<sup>137</sup> Akaike, H. (1998). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. Ed. by E. Parzen, K. Tanabe, and G. Kitagawa. Springer Series in Statistics. Springer New York, 199–213.

<sup>138</sup> Bozdogan, H. (1987). Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika*, 52(3), 345-370.

<sup>139</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

<sup>140</sup> Akaike, H. (1998). Op. cit.

<sup>141</sup> Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. In *Selected Papers of Hirotugu Akaike* (pp. 215-222). Springer, New York, NY.

<sup>142</sup> Primi, C., & Chiesi, F. (2009). La selezione dei modelli: dalla verifica dell'ipotesi nulla al contributo dell'AIC (Akaike Information Criterion). *Giornale italiano di psicologia*, 36(4), 913-924.

rispetto all'ampiezza del campione, allora la tecnica AIC non è consistente<sup>143</sup>. Però, Ritei Shibata ha dimostrato l'efficienza asintotica di tale criterio nel caso di infinite variabili di regressione oppure di un numero crescente delle variabili di regressione all'aumentare della dimensione del campione analizzato<sup>144</sup> e, in questo caso, dell'orizzonte temporale del campione. Come affermato da Trimborn e Härdle, è ragionevole ipotizzare che il numero di componenti  $k$  ed il numero dei parametri da stimare  $s$  crescano all'aumentare dell'orizzonte temporale in questa situazione poiché un periodo temporale più lungo includerebbe delle criptovalute che potrebbero non esistere in un orizzonte più ridotto a causa del loro fallimento o perché non esistono in talo periodo.

Dopo aver spiegato l'AIC e le motivazioni alla base di tale scelta come tecnica di selezione del numero di componenti ottimale per l'indice rappresentativo del mercato delle criptomonete, risulta necessario definire la procedura che porta alla scelta del modello ottimale, coerentemente con la metodologia descritta finora. Essa consiste nel confrontare le differenze quadratiche tra i rendimenti logaritmici del *Total Market Index* (TMI) ed i rendimenti logaritmici dei diversi indici tra i quali si vuole trovare quello ottimale, ossia quello che minimizza la seguente differenza:

$$\|\hat{\epsilon}(k_j, \beta)\|^2 = \|\epsilon(k_{max})^{TMI} - \epsilon(k_j, \beta)^{CRIX}\|^2$$

dove  $\epsilon(k_j, \beta)^{CRIX}$  è il rendimento logaritmico dell'indice CRIX con  $k_j$  componenti e  $\hat{\epsilon}(k_j, \beta)$  è la sua rispettiva differenza con l'indice TMI. L'insieme di indici  $CRIX(k_j, \beta)$  hanno numeri differenti di membri tali per cui  $k_1 < k_2 < k_3 < \dots$ , dove  $k_j = k_1 + s(j-1)$ . Quindi, il numero di membri tra i diversi indici è equamente spaziato<sup>145</sup>. Come introdotto precedentemente, il criterio di informazione di Akaike valuta se inserendo  $s$  nuovi membri all'interno dell'indice sono aggiunte delle informazioni tali da migliorarlo. In caso affermativo, tali monete sono incorporate nell'intercetta e l'AIC passa a valutare i successivi  $s$  asset. Trimborn e Härdle dimostrano che le valute crypto che hanno una alta capitalizzazione di mercato influenzano di più il test di verifica delle informazioni. Di conseguenza, l'approccio utilizzato dai due accademici è di tipo *top-down*: sono inserite nel modello prima le monete con un alto valore di mercato, e successivamente tutte le altre, in ordine decrescente.

Poiché è utilizzato lo stesso *dataset* per stimare la densità di probabilità della differenza tra i

---

<sup>143</sup> Hurvich, C. M., & Tsai, C. L. (1989). Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika*, 76(2), 297-307.

<sup>144</sup> Shibata, R. (1983). Asymptotic mean efficiency of a selection of regression variables. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 35(3), 415-423.

<sup>145</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)



rendimenti logaritmici  $f^j(\hat{\epsilon}(k_j, \beta))$  e stimare il numero di componenti ottimale di CRIX  $k^*$ , è applicata la procedura di *leave-one-out cross validation* così da suddividere il campione in dati *in-sample* per il calcolo della densità ed in dati *pseudo-out-of-sample* per il calcolo di  $k^*$ , ossia delle nuove osservazioni<sup>146</sup>.

In linea generale, i membri degli indici sono controllati periodicamente in modo che l'indice corrispondente sia sempre un buon *benchmark* per il mercato di riferimento. Di solito, tale verifica viene effettuata ogni trimestre. Degli esempi sono costituiti dalle società Deutsche Boerse AG<sup>147</sup> e Standard & Poor's<sup>148</sup>. Tuttavia, storicamente le monete crypto hanno mostrato un comportamento molto volatile. Perciò, Trimborn e Härdle hanno optato per una riallocazione dei membri effettuata ogni mese, in modo che il CRIX riesca a ben rappresentare la dinamica del mercato delle criptovalute. Pertanto, l'ultimo giorno di ogni mese, le valute crypto che hanno ottenuto la più alta capitalizzazione di mercato nell'ultimo giorno dell'ultimo mese saranno analizzate e le prime  $k^*$  saranno incluse all'interno dell'indice per il mese successivo.

Invece, il numero di membri dell'indice CRIX è verificato ogni trimestre. La procedura sarà applicata alle osservazioni degli ultimi tre mesi l'ultimo giorno del terzo mese, dopo la chiusura dei mercati finanziari.

Pertanto, il CRIX corrisponde ad un indice ribilanciato mensilmente il cui numero di componenti viene rivisto invece trimestralmente<sup>149</sup>.

Può accadere che manchino dei dati per alcune delle serie storiche relative le criptomonete analizzate. Se nel set di dati si verifica un valore mancante isolato, il che significa che i valori prima e dopo non mancano, si assume che i valori mancanti siano *Missing At Random (MAR)*<sup>150</sup>. Questo presupposto significa che la mancanza di tali dati è causata dalle informazioni osservate, ossia non mancanti<sup>151</sup>.

Per superare il problema causato dalla mancanza di alcuni dati, così da poter rivedere il numero ottimale di membri  $k^*$  mediante il test AIC evitando distorsioni nella rappresentazione del mercato,

---

<sup>146</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

<sup>147</sup> *Guide to the Equity Indices of Deutsche Boerse.* [https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide\\_Equity\\_Indices.pdf](https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide_Equity_Indices.pdf)

<sup>148</sup> *Index Mathematics Methodology - S&P Dow Jones Indices.* <https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-sp-us-indices.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>149</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

<sup>150</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

<sup>151</sup> Horton, N. J., & Kleinman, K. P. (2007). Much ado about nothing: A comparison of missing data methods and software to fit incomplete data regression models. *The American Statistician*, 61(1), 79-90.

è applicato il metodo *Last-Observation-Carried-Forward* (LOCF)<sup>152</sup>. Esso consiste nell'utilizzare l'ultimo dato storico disponibile precedente il valore mancante<sup>153</sup>. Trimborn e Härdle non hanno scelto una tecnica diversa così da evitare una possibile alterazione dei dati nella direzione sbagliata. Inoltre, allo scopo di stimare il numero ottimale di componenti  $k^*$ , una serie storica di una criptovaluta che presenta un dato mancante nel periodo temporale analizzato non viene esclusa dal calcolo. Invece, se mancano due o più dati, l'ipotesi MAR potrebbe essere violata. Pertanto, in questa situazione non verrebbe applicato alcun metodo, e le serie temporali corrispondenti sarebbero escluse dal test AIC nel trimestre considerato.

Per evitare che l'indice CRIX possa includere delle valute con una alta capitalizzazione di mercato ma poco liquide, Trimborn e Härdle hanno applicato due regole:

1. 0,25 percentile del volume medio scambiato giornaliero in dollari USA. In formule

$$ADTV_i \geq ADTV_{0,25}$$

dove  $ADTV_{0,25}$  è il venticinquesimo percentile della distribuzione del volume medio scambiato giornaliero di tutte le monete crypto nell'ultimo trimestre e  $ADTV_i$  è il volume medio giornaliero della valuta crypto  $i$  nell'ultimo trimestre.

2. 0,25 percentile del numero medio di monete scambiato giornaliero. In formule

$$ADTC_i \geq ADTC_{0,25}$$

dove  $ADTC_{0,25}$  è il venticinquesimo percentile della distribuzione del numero medio di monete scambiato giornaliero di tutte le monete crypto nell'ultimo trimestre e  $ADTC_i$  è il numero medio di monete scambiato giornaliero della valuta crypto  $i$  nell'ultimo trimestre.

Se una particolare criptomoneta soddisfa almeno una delle due regole, allora è idonea ad un suo eventuale inserimento all'interno dell'indice CRIX<sup>154</sup>.

A questo punto, si può sintetizzare il processo che porta alla selezione del numero ottimale di membri in ogni trimestre come segue:

1. Alla fine di ogni trimestre, si costruisce il *Total Market Index*  $TMI(k_{max})$ .

---

<sup>152</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928).

<sup>153</sup> Kenward, M. G., & Molenberghs, G. (2009). Last observation carried forward: a crystal ball?. *Journal of biopharmaceutical statistics*, 19(5), 872-888.

<sup>154</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

2. Si fissa  $j = 1$ , dove  $j$  è il pedice della variabile rappresentante il numero di componenti dell'indice CRIX  $k_j$ .
3. Si costruiscono  $\text{CRIX}(k_j, 1)$  e  $\text{CRIX}(k_j, \beta)$ , dove  $j = 1, 2, 3, \dots$  e  $k_1 < k_2 < k_3 < \dots < k_{\max}$ .
4. Si calcolano le differenze logaritmiche tra TMI e CRIX  $\hat{\varepsilon}(k_j, \beta)$  e  $\hat{\varepsilon}(k_j, 1)$ .
5. *Kernel density estimation* delle densità di probabilità  $f^j(\hat{\varepsilon}(k_j, \beta))$  e  $f^j(\hat{\varepsilon}(k_j, 1))$  mediante *leave-one-out cross validation*.
6. Si applica il test di verifica delle informazioni di Akaike su  $\hat{\varepsilon}(k_j, \beta)$  e  $\hat{\varepsilon}(k_j, 1)$ :  $AIC\{\hat{\varepsilon}(k_j, \beta), s\}$  e  $AIC\{\hat{\varepsilon}(k_j, 1), 0\}$ .
7. Se  $j = (k_{\max} - s)$ : la procedura si interrompe e  $k_j$  è il numero ottimale. In caso contrario, la procedura inizia nuovamente dal punto 3, e si fissa un nuovo  $j = j + 1$ <sup>155</sup>.

Mentre viene effettuata la scelta per il numero di membri ottimale,  $k_j$  può assumere valori multipli di 5 (quindi  $k_1 = 5, k_2 = 10$  ecc.) Questa scelta è dettata dalla prassi, in quanto è solito costruire indici di mercato con un numero di componenti divisibile per cinque, come lo S&P500<sup>156</sup> ed il DAX30<sup>157</sup>. Dal momento che la ricerca del minimo globale per il criterio AIC può coinvolgere molti membri dell'indice, ma l'obiettivo è quello di costruire un *benchmark* del mercato delle criptomonete con un ridotto numero di esse al suo interno, la ricerca del modello ottimale termina a quel livello  $j$  tale che

$$AIC\{\hat{\varepsilon}(k_j, \beta), 5\} < AIC\{\hat{\varepsilon}(k_j, 1), 0\}$$
<sup>158</sup>

## 2.4 Analisi in componenti principali come indice di correlazione tra criptovalute

Nello studio condotto nel terzo capitolo si è effettuata un'analisi in componenti principali sulle criptovalute più influenti nel mercato, in modo da avere una ulteriore prova, insieme al test di correlazione di Pearson, riguardo una possibile esistenza o meno di una relazione tra tali monete. L'analisi in componenti principali (*Principal Component Analysis*, PCA) è una tecnica statistica di analisi multivariata che permette di diminuire la dimensione di un *dataset* rappresentabile da

<sup>155</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928).

<sup>156</sup> *Index Mathematics Methodology - S&P Dow Jones Indices*. <https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-sp-us-indices.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>157</sup> *Guide to the Equity Indices of Deutsche Boerse*. [https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide\\_Equity\\_Indices.pdf](https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Guide_Equity_Indices.pdf)

<sup>158</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). Op. cit.

una matrice  $X$  di dimensioni  $n \times m$ , dove  $n$  sono il numero di osservazioni (come i giorni di una serie storica giornaliera) e  $m$  il numero di variabili considerate (per esempio le valute cripto).

Graficamente, una matrice di dati  $n \times m$  può essere immaginata come un insieme di  $n$  punti in uno spazio  $m$ -dimensionale. Se  $m$  è elevato l'obiettivo è quello di ridurre la rappresentazione degli  $n$  punti ad uno spazio di dimensioni più ridotte ma che mantenga il più possibile la struttura dei punti originari. Così, date  $m$  variabili osservate, fra loro più o meno correlate, la PCA le trasforma in variabili fra loro linearmente indipendenti, denominate "componenti principali" (PC). Le componenti principali sono estratte in ordine d'importanza: da quella che spiega la quota maggiore di varianza dei dati analizzati a quella che ne spiega la quota minore.

Il fine di questo tipo di analisi è ridurre l'ampiezza del set di dati trasformandoli, cercando di mantenere la stessa quantità d'informazione mediante il ricorso ad un numero minore di variabili<sup>159</sup>.

Una spiegazione minuziosa di tale procedura richiederebbe uno spazio rilevante in questa trattazione. Poiché tale tecnica non ne costituisce un aspetto cruciale, si ritiene sufficiente riportarne i passaggi fondamentali.

1. Sottrarre a ciascuna osservazione  $n$  di una variabile  $m$  la media  $\bar{m}$ : in tale modo, le nuove variabili hanno media nulla.
2. Calcolare la matrice delle covarianze delle nuove variabili.
3. Calcolare gli autovalori e gli autovettori della matrice delle covarianze delle nuove variabili
4. Scegliere le componenti principali e raggrupparli in un vettore: infatti, gli autovettori della matrice delle covarianze costituiscono le componenti principali. L'ordine di significanza delle componenti principali è ricavabile dall'autovalore associato all'autovettore: più è alto, più è in grado di spiegare la varianza dei dati analizzati.
5. Costruzione del nuovo set di dati, mediante il prodotto tra il vettore ricavato nel punto 4 trasposto e la matrice dei dati iniziali<sup>160</sup>.

Per chi volesse approfondire l'analisi in componenti principali, si rimanda alla pubblicazione "A tutorial on principal components analysis" di Lindsay I. Smith.

---

<sup>159</sup> Hastie, T., James, G., Tibshirani, R., & Witten, D. (2013). An introduction to statistical learning with applications in R.

<sup>160</sup> Smith, L. I. (2002). *A tutorial on principal components analysis*.

## 2.5 Principali misure di performance di uno strumento finanziario

Giunti a questo punto, è il momento di elencare quali misure di performance di uno strumento finanziario sono state applicate in questa trattazione.

In primo luogo, introduciamo l'indice di Sharpe (*Sharpe Ratio*). Esso è uno dei principali indici utilizzati dagli attori dei mercati finanziari in questo ambito. Definito per la prima volta dall'economista statunitense William Forsyth Sharpe nel 1966<sup>161</sup>, è stato ulteriormente generalizzato da lui stesso nel 1994, quando fece una distinzione tra indice di Sharpe *ex ante* ed indice di Sharpe *ex post* (o storico). Qui solo il secondo indice è spiegato ed utilizzato. In formule, l'indice di Sharpe *ex post* relativo ad uno strumento finanziario  $i$  nel periodo temporale  $T$  può essere espresso nella seguente maniera:

$$\text{Sharpe Ratio}_T^i = \frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_t^i - r_t^f)}{\sigma_t^d}$$

dove  $r_t^i$  è il rendimento nell'istante temporale  $t$  relativo ad uno strumento finanziario  $i$  (un singolo bene od un portafoglio di titoli),  $r_t^f$  è il rendimento nell'istante temporale  $t$  relativo ad uno strumento finanziario  $f$  ritenuto privo di rischio,  $\sigma_t^d$  la deviazione standard delle differenze tra i rendimenti dello strumento finanziario  $i$  ed i rendimenti *risk free* (si parla in questo caso di rendimenti in eccesso) e  $T$  è il periodo temporale considerato per il calcolo di tale misura. Il rapporto indica il rendimento in eccesso medio storico del bene  $i$  per unità di variabilità storica dei rendimenti in eccesso<sup>162</sup>. Più alto è il valore di tale misura, migliore risulta la performance storica dello strumento finanziario corretta per il rischio, rappresentato da  $\sigma_t^d$ <sup>163</sup>. Qui è stato scelto come strumento privo di rischio il *T-Bill* con scadenza 4 settimane<sup>164</sup>, i cui rendimenti giornalieri storici sono stati reperiti dal noto database online curato dall'economista statunitense Kenneth Ronald French<sup>165</sup>, autore insieme all'economista statunitense Eugene Francis Fama del celebre modello di *pricing* a tre fattori, nel quale sono usati come rendimenti privi di rischio proprio i rendimenti del *T-Bill* a 4 settimane<sup>166</sup>.

---

<sup>161</sup> Sharpe, W. F. (1966). Mutual fund performance. *The Journal of business*, 39(1), 119-138.

<sup>162</sup> Sharpe, W. F. (1994). The sharpe ratio. *Journal of portfolio management*, 21(1), 49-58.

<sup>163</sup> <http://www.morningstar.it/it/glossary/127992/Sharpe-Ratio.aspx>

<sup>164</sup> I T-Bill, o Treasury Bill, sono titoli del debito pubblico statunitense di breve termine. Le scadenze dei T-Bill sono a 4, 13, 26 e 52 settimane. Fonte: <https://www.borsaitaliana.it/borsa/glossario/t-bill.html>

<sup>165</sup> Kenneth French – Data Library. [https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data\\_library.html](https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data_library.html)

<sup>166</sup> Fama, E. F., & French, K. R. (1993). Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of financial economics*, 33(1), 3-56.

Un altro diffuso misuratore della performance di un *asset* finanziario, e qui utilizzato, è l'indice di Sortino. Esso è stato ideato dall'economista statunitense Frank Sortino. Esso, a differenza dell'indice di Sharpe, prende in considerazione la deviazione *downside* invece della deviazione standard come misura del rischio di un bene finanziario. In altre parole, l'indice di Sortino è ricavato mediante quei rendimenti che sono inferiori ad un predeterminato rendimento soglia specificato da colui che compie il calcolo. In aggiunta, tale rendimento sostituisce il tasso d'interesse *risk-free* presente nel numeratore dello *Sharpe Ratio*. Così, l'indice di Sortino non considera rischiose le fluttuazioni del rendimento di un determinato strumento finanziario, se esse avvengono sopra il tasso soglia scelto. Infatti, se un determinato bene ha delle oscillazioni del rendimento ampie (segno di volatilità, misurata statisticamente tramite la deviazione standard), ma i movimenti rialzisti sono più forti di quelli ribassisti, il titolo ha un trend crescente. Di conseguenza, tali oscillazioni non dovrebbero essere punite quando si vuole misurare la performance del bene, in quanto generano un rendimento positivo e crescente per un ipotetico investitore. Tuttavia, l'indice di Sharpe, utilizzando come misura del rischio la deviazione standard dei rendimenti in eccesso, penalizza queste oscillazioni.

In formule, l'indice di Sortino relativo ad uno strumento finanziario  $i$  nel periodo temporale  $T$  può essere espresso così:

$$\text{Sortino Ratio}_T^i = \frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_t^i - r_t^S)}{SDD}$$

dove  $r_t^i$  è il rendimento nell'istante temporale  $t$  relativo ad uno strumento finanziario  $i$ ,  $r_t^S$  è il rendimento soglia nell'istante temporale  $t$  e  $SDD$  è la deviazione *downside* rispetto al tasso soglia, definibile dalla seguente formula:

$$SDD = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\min(0, r_t^i - r_t^S))^2}$$

ossia la radice quadrata della somma del minimo tra 0 e la differenza tra  $r_t^i$  e il  $r_t^S$ , divisa per il numero di giorni  $T$ <sup>167</sup>.

## 2.6 Il modello di selezione di portafoglio di Markowitz

Come si vedrà nella sezione 3.2.3, saranno presentati quattro portafogli i quali, a seconda della strategia applicata, prevedono l'inserimento o meno al suo interno dell'ipotetico ETF nel settore delle criptovalute unitamente alla possibilità o meno di compiere delle vendite allo

---

<sup>167</sup> Rollinger, T., & Hoffman, S. (2013). Sortino ratio: A better measure of risk. *Futures Magazine*, 1(02).

scoperto. Nonostante si trattino di quattro strategie diverse, tali portafogli sono costruiti seguendo l'approccio teorizzato da Markowitz.

Il modello di selezione di portafoglio di Markowitz costituisce l'approccio classico nella teoria moderna di portafoglio. Esso prevede che un portafoglio di titoli finanziari efficiente possa essere costruito mediante due fasi. Nella prima si compone il portafoglio ottimo rischioso, avendo come input iniziali una serie di titoli finanziari rischiosi (ossia con varianza positiva): in particolare, i loro rendimenti attesi in eccesso e l'annessa matrice varianze-covarianze<sup>168</sup>. Invece, nella seconda fase è effettuata una allocazione del capitale tra il portafoglio ottimo rischioso composto nel primo step ed il bene finanziario ritenuto privo di rischio (nella prassi sono utilizzati titoli governativi: qui, come detto nella sezione precedente, è utilizzato il *Treasury Bill* a 4 settimane).

Nel primo step, il portafoglio ottimo rischioso  $P$  è quel portafoglio che, dati  $N$  diversi *asset* rischiosi, ha l'indice di Sharpe massimo. In formule, il problema di massimizzazione può essere espresso così:

$$\max_{w_i} \frac{E(R_P)}{\sigma_P} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i E(R_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j>1}^N w_i w_j \sigma_{ij}}}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^N w_i = 1$$

dove  $E(R_P)$  è il rendimento atteso in eccesso del portafoglio ottimo rischioso  $P$ ,  $\sigma_P$  la sua deviazione standard,  $w_i$  è il peso dello strumento finanziario rischioso  $i$  all'interno del portafoglio,  $E(R_i)$  è il suo rendimento atteso in eccesso,  $\sigma_i^2$  è la sua varianza e  $\sigma_{ij}$  è la sua covarianza con lo strumento finanziario rischioso  $j$ . Nel caso in cui non sia ammessa la vendita allo scoperto degli *asset* rischiosi, allora il problema di massimizzazione diventa:

$$\max_{w_i} \frac{\sum_{i=1}^N w_i E(R_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j>1}^N w_i w_j \sigma_{ij}}}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^N w_i = 1$$

$$w_i \geq 0$$

Per risolvere la seconda fase della costruzione del portafoglio ottimo completo, bisogna trovare quella combinazione tra portafoglio ottimo rischioso e bene privo di rischio che massimizza la

---

<sup>168</sup> Per essere rigorosi, è doveroso specificare che il "vero" modello di Markowitz presentato nel 1952 è l'identificazione della frontiera efficiente dei portafogli, e conseguentemente del portafoglio ottimo rischioso, corrispondente solo alla prima fase.

funzione di utilità di un ipotetico investitore. Una funzione di utilità particolarmente diffusa nella teoria economica è data dalla seguente formula:

$$U = E(r_C) - \frac{1}{2}A\sigma_C^2$$

dove  $E(r_C)$  è il rendimento atteso del portafoglio completo,  $A$  è un indice di avversione al rischio dell'investitore, crescente all'aumentare di  $A$ , e  $\sigma_C^2$  è la varianza del portafoglio completo. Il problema di massimizzazione può invece essere scritto così:

$$\max_y U = E(r_C) - \frac{1}{2}A\sigma_C^2 = yE(r_P) + (1-y)r_f - \frac{1}{2}Ay^2\sigma_P^2$$

dove  $y$  è il peso del portafoglio ottimo rischioso  $P$  composto nella prima fase all'interno del portafoglio ottimo completo  $C$ .

Per trovare il massimo della funzione di utilità analiticamente, si deve cercare il valore di  $y$  tale per cui la derivata di  $U$  è pari a 0:

$$\frac{\partial U}{\partial y} = 0 \text{ se } y^* = \frac{E(r_P) - r_f}{A\sigma_P^2}$$

Il peso ottimale del portafoglio ottimo rischioso  $P$  all'interno del portafoglio ottimo completo  $C$  è crescente per il rendimento atteso in eccesso di  $P$  e decrescente sia per l'indice di avversione al rischio che per la varianza di  $P$ <sup>169</sup>.

Come si può osservare, seguendo questo modello di selezione un gestore di portafoglio offre lo stesso portafoglio ottimo rischioso  $P$  a tutta la sua clientela, a prescindere dal loro grado di avversione al rischio. L'avversione al rischio di un investitore è influente solamente nella seconda fase, ossia nella allocazione del capitale tra il bene privo di rischio ed il portafoglio  $P$ . Di conseguenza, due clienti con diverse avversità al rischio sono differenziati tra loro solamente dalla quantità di capitale investito nell'asset *risk-free* e nel portafoglio rischioso: l'investitore più propenso al rischio collocherà una quantità maggiore di capitale nel portafoglio rischioso, a discapito dello strumento privo di rischio. Questo risultato prende il nome di *separation property* (letteralmente "proprietà della separazione"), e fu notato per la prima volta dall'economista insignito del premio Nobel James Tobin<sup>170</sup>.

Per concludere, alla base di tale modello di selezioni vi sono una serie di ipotesi restrittive. Tra di esse, una è l'assunzione di una distribuzione dei rendimenti dei titoli finanziari di tipo gaussiana. Infatti, nel caso in cui i rendimenti non sono distribuiti normalmente, la varianza dei rendimenti

<sup>169</sup> Bodie, Z., Kane, A. & Marcus, A. J. (2013). *Investments*. McGraw-Hill Education.

<sup>170</sup> Tobin, J. (1958). Liquidity preference as behavior towards risk. *The review of economic studies*, 25(2), 65-86.



non può essere ritenuta un indicatore completo del rischio di un bene finanziario<sup>171</sup>. Di conseguenza, in questa trattazione sono presentate altre due misure di rischio, le quali tengono conto di alcune caratteristiche delle distribuzioni non normali, come le code “grasse” (*fat tails*), le quali generano possibili eventi estremi, ossia rendimenti eccezionalmente lontani dal rendimento atteso, e quindi possibili perdite molto consistenti.

## 2.7 Principali indici di rischio di uno strumento finanziario: il *Value at Risk* e la *Expected Shortfall*

In alcuni dati esaminati nel terzo capitolo di questo elaborato, sono state applicate due misure comunemente utilizzate per quantificare in un singolo numero il rischio di mercato di uno strumento finanziario<sup>172</sup>, ossia il rischio di conseguire delle perdite dovute alle variazioni del prezzo di tale titolo o della sua volatilità<sup>173</sup>.

La prima tecnica è il *Value at Risk* (VaR). Esso può essere definito come il valore corrispondente alla massima perdita attesa in un periodo temporale  $t$  e con una probabilità  $1-\alpha$ , dove  $\alpha$  è il livello di confidenza, e deve essere compreso tra 0 e 1<sup>174</sup>. In altre parole, fissati un orizzonte temporale  $t$  (per esempio un giorno) ed un livello di confidenza  $\alpha$  (di solito 0,01 oppure 0,05), il VaR rappresenta la perdita peggiore, registrabile in un giorno, che non sarà superata con una probabilità del 99% (se  $\alpha = 0,01$ ), su un determinato strumento finanziario o portafoglio di titoli<sup>175</sup>. Quindi, il *Value at Risk* è una funzione dipendente da due parametri discrezionali: il periodo temporale  $t$  e il livello di confidenza  $\alpha$ <sup>176</sup>.

In maniera formale, il *Value at Risk* può essere definito come segue: dato un livello di confidenza  $\alpha \in (0,1)$  e un orizzonte temporale  $t$ , il VaR per una variabile casuale  $X$  con una funzione di ripartizione  $F(x)$  è determinata come

$$VaR_{\alpha}(X) = \inf\{x|F(x) \leq \alpha\}$$

dove *inf* rappresenta quel valore  $x$  della variabile  $X$  che è estremo inferiore, nel caso in cui la

---

<sup>171</sup> Bodie, Z., Kane, A. & Marcus, A. J. (2013). *Investments*. McGraw-Hill Education.

<sup>172</sup> Hull, J. (2015). *Risk management and financial institutions*. John Wiley & Sons.

<sup>173</sup> Jorion, P. (2001). *Value at risk: the new benchmark for managing financial risk (Vol. 2)*. New York: McGraw-Hill.

<sup>174</sup> Duffie, D., & Pan, J. (1997). An overview of value at risk. *Journal of derivatives*, 4(3), 7-49.

<sup>175</sup> Jorion, P. (2001). Op. cit.

<sup>176</sup> Hull, J. (2015). Op. cit.

funzione di ripartizione  $F(x)$  assuma dei valori minori o uguali al livello di confidenza scelto  $\alpha$ <sup>177</sup>. Vi sono tre approcci principali per stimare il *Value at Risk* di una posizione finanziaria: l'approccio della simulazione storica, l'approccio varianze-covarianza e l'approccio della simulazione Monte Carlo<sup>178</sup>. Tuttavia, in questo elaborato è utilizzata solo la prima, in quanto la tecnica delle varianze-covarianze di solito assume che le variazioni giornaliere dei rendimenti dei titoli componenti un portafoglio si ipotizzano distribuite in maniera gaussiana multivariata, e di conseguenza anche le variazioni dei rendimenti dell'intero portafoglio hanno una distribuzione gaussiana. Infatti, le ipotesi appena elencate non sono rispettate, come si potrà notare nel terzo capitolo di questa trattazione. Invece, la simulazione Monte Carlo è scartata in quanto una quantificazione accurata del *Value at Risk* attraverso molteplici tecniche ed estensioni non costituisce un elemento importante in questa trattazione. Inoltre, la lentezza di calcolo del VaR mediante tale approccio disincentiva il suo utilizzo in questo elaborato<sup>179</sup>. Infatti, qui l'obiettivo è analizzare la prestazione storica di un indice rappresentativo del mercato delle criptovalute al fine di valutare una possibile classe di investimento implementabile attraverso la creazione di un *exchange-traded fund* che tenti di replicare tale indice. In questo modo, si ha la possibilità di investire in un paniere di monete crypto, traendo così beneficio dalla diversificazione (seppur limitata, nel caso in cui il portafoglio di un investitore includa esclusivamente tale ETF)<sup>180</sup>.

La metodologia della simulazione storica si serve dei cambiamenti giornalieri storici nei valori assunti da una variabile al fine di stimare la distribuzione di probabilità di tali variazioni. Per esempio, si supponga oggi di voler calcolare il *Value at Risk* di un portafoglio per quantificare il rischio di mercato per la giornata di domani: viene così creato un set di dati contenenti i valori assunti da un portafoglio in un orizzonte temporale  $T$ . Quindi, si ottiene un numero di scenari  $T-1$ , pari al numero di variazioni giornaliere percentuali generate. Il primo scenario assume che il cambiamento giornaliero di valore è lo stesso di quello osservato nel giorno meno recente del dataset considerato, il secondo scenario assume che il cambiamento giornaliero di valore è lo stesso di quello osservato nel secondo giorno meno recente del dataset considerato e così via. Successivamente, si ordinano gli scenari ottenuti dal valore più piccolo al valore più grande. Così, nel caso in cui si voglia calcolare il VaR con un livello di confidenza del 99%, si seleziona la variazione giornaliera corrispondente al primo percentile della distribuzione ordinata in maniera

---

<sup>177</sup> Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical finance*, 9(3), 203-228.

<sup>178</sup> <https://www.investopedia.com/articles/04/092904.asp> (accesso in data 31/07/2019)

<sup>179</sup> Hull, J. (2015). Risk management and financial institutions. *John Wiley & Sons*.

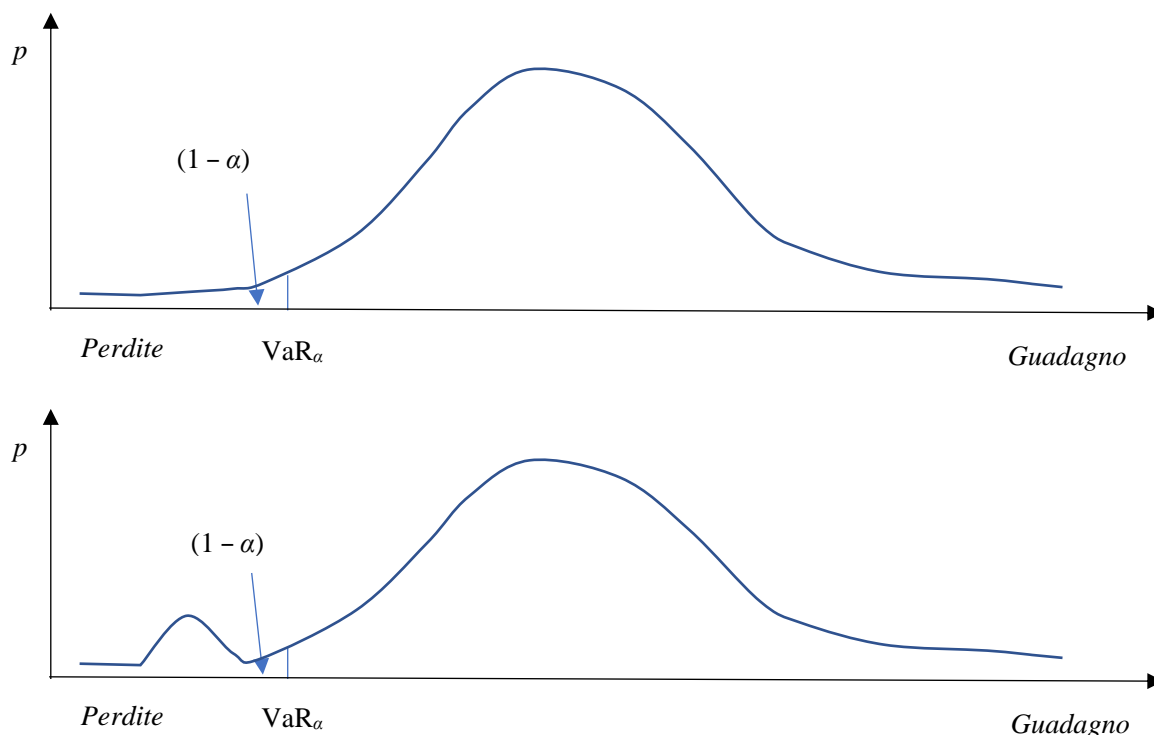
<sup>180</sup> Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.

crescente.

L'assunzione alla base di tale approccio è che la distribuzione di probabilità stimata mediante tale tecnica, la quale riflette quanto accaduto nel passato, sia una buona approssimazione della dinamica dello strumento finanziario analizzato nel giorno successivo. Però, quanto appena detto non è riscontrato nella realtà. Infatti, di solito i rendimenti nei mercati finanziari non sono caratterizzati da stazionarietà.

Questa assunzione, unita alla poca rapidità di calcolo del VaR mediante tale approccio rispetto alla tecnica varianze-covarianze, costituisce il limite di tale metodologia<sup>181</sup>. Tuttavia, dal momento che questo elaborato non è focalizzato sul rischio di mercato nell'ambito delle criptovalute, ma, come già detto, si vuole dare spazio ad una analisi estesa e generale di un indice che tenti la loro rappresentazione, si applica l'approccio delle simulazioni storiche, tenendo conto delle sue restrizioni.

A prescindere dalla tecnica utilizzata per la stima del *Value at Risk*, quest'ultimo presenta uno svantaggio importante. Infatti, il VaR fornisce la massima perdita attesa in un predeterminato arco temporale e con una probabilità fissata. Però, non fornisce alcuna grandezza relativa l'entità delle perdite che potrebbero essere sostenute superato tale valore.



**Figura 2.1.** Rappresentazione di due funzioni di densità di probabilità dei guadagni e delle perdite di due portafogli durante un orizzonte temporale T. In questo caso, entrambi i portafogli hanno lo stesso VaR, per l'intervallo di confidenza scelto  $\alpha$ . Tuttavia, è ben visibile come il secondo portafoglio sia più rischioso. Fonte: Hull, J. (2015). *Risk management and financial institutions*. John Wiley & Sons.

<sup>181</sup> Hull, J. (2015). *Risk management and financial institutions*. John Wiley & Sons.

Come si può notare dalla **figura 2.1**, tale misura non riesce a discriminare tra situazioni in cui le possibili perdite sarebbero contenute, superato il VaR, e situazioni nelle quali è più probabile che le perdite siano ingenti. Il *Value at Risk* fornisce solamente un limite minimo per le perdite nella coda della funzione di densità di probabilità della variabile considerata<sup>182</sup>.

Una altra tecnica molto conosciuta ed in grado di risolvere il problema generale del VaR appena elencato è la *Expected Shortfall* (ES), altrimenti conosciuta come *Conditional Value at Risk* (CVaR), *Conditional Tail Expectation* (CTE) o *Expected Tail Loss* (ETL). Fissato un periodo temporale  $t$  ed un livello di confidenza  $\alpha$ , la *Expected Shortfall* può essere definita come la perdita attesa condizionata all'essere nella coda  $(1 - \alpha)$  della funzione di densità di probabilità dei guadagni e delle perdite di un titolo o di un portafoglio<sup>183</sup>. In altre parole, fissati un orizzonte temporale  $t$  ed un livello di confidenza  $\alpha$ , la ES rappresenta la perdita media di un determinato strumento finanziario o portafoglio di titoli, nel caso in cui tale perdita è maggiore del *Value At Risk* calcolato con lo stesso periodo temporale e livello di confidenza<sup>184</sup>.

Quindi, anche la *Expected Shortfall* è una funzione dipendente da due parametri discrezionali: il periodo temporale  $t$  e il livello di confidenza  $\alpha$ <sup>185</sup>.

In maniera formale, la *Expected Shortfall* può essere definita come segue: dato un livello di confidenza  $\alpha$  e un orizzonte temporale  $t$ , la ES per una variabile casuale  $X$  con una funzione di ripartizione  $F(x)$  è determinata come

$$ES_{\alpha} = E[X|X > VaR_{\alpha}(X)]$$

ossia, il valore atteso di  $X$  condizionato dall'evento "X maggiore del *Value at Risk* di X"<sup>186</sup>.

Per stimare la *Expected Shortfall* di una posizione finanziaria, si ricorre agli stessi approcci utilizzati per misurare il *Value at Risk*: simulazione storica, varianze-covarianze, simulazione Monte Carlo. Per le ragioni ampiamente spiegate precedentemente, in questa trattazione (precisamente nel terzo capitolo) è utilizzato esclusivamente la tecnica della simulazione storica, e si accettano i suoi limiti. Riprendendo la spiegazione di tale metodologia ai fini del calcolo della

---

<sup>182</sup> Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2002). Conditional value-at-risk for general loss distributions. *Journal of banking & finance*, 26(7), 1443-1471.

<sup>183</sup> Hull, J. (2015). *Risk management and financial institutions*. John Wiley & Sons.

<sup>184</sup> Scaillet, O. (2004). Nonparametric estimation and sensitivity analysis of expected shortfall. *Mathematical Finance: An International Journal of Mathematics, Statistics and Financial Economics*, 14(1), 115-129.

<sup>185</sup> Hull, J. (2015). Op. cit.

<sup>186</sup> Franke, J., Hardle, W. K., & Hafner, C. M. (2015). *Statistics of Financial Markets: an Introduction*. Springer Science & Business Media.

ES, la simulazione storica si serve dei cambiamenti giornalieri storici nelle variabili di interesse. Quindi, viene raccolto il set di dati da cui stimare la ES, e si definiscono gli scenari. Successivamente, si ordinano gli scenari ottenuti dal valore più piccolo al valore più grande. Così, nel caso in cui si voglia calcolare la *Expected Shortfall* con una probabilità del 99%, si selezionano le variazioni giornaliere non eccedenti il primo percentile della distribuzione ordinata in maniera crescente e se ne calcola la media.

Per concludere, anche nel calcolo della ES mediante la simulazione storica si assume che la distribuzione di probabilità stimata, la quale riflette quanto accaduto nel passato, sia una buona approssimazione della dinamica dello strumento finanziario analizzato nel giorno successivo. Come si è già detto sopra, questa ipotesi non è riscontrata nella realtà: di solito i rendimenti nei mercati finanziari non sono caratterizzati da stazionarietà<sup>187</sup>.

## 2.8 Lo *spread bid-ask* come misura di liquidità di uno strumento finanziario

Per verificare la performance di un *exchange-traded fund*, un *fund manager* dovrebbe monitorare il *benchmark* di riferimento, in modo da gestire l'eventuale *tracking error* tra di essi, ossia la differenza tra il rendimento del fondo ed il rendimento dell'indice replicato. Vi sono una serie di fattori che influenzano il *tracking error*<sup>188</sup>: la liquidità degli strumenti finanziari detenuti dal fondo è uno di essi<sup>189</sup>. Per questo, un *fund manager* di un ETF dovrebbe verificare il livello di liquidità degli *asset* detenuti e controllare eventuali variazioni. Di conseguenza, ai fini di questo elaborato, parte del terzo capitolo è dedicata alla valutazione del livello di liquidità del mercato delle monete crypto.

Per liquidità di uno strumento finanziario si intende la sua attitudine ad essere convertito in moneta legale. Quanto più rapidamente e a costi contenuti questo avviene, tanto più il bene può essere considerato liquido e viceversa. Infatti, una bassa liquidità di uno strumento finanziario riduce l'efficienza economica della conversione in moneta legale dello stesso, con la conseguenza che il compratore dovrà accettare di pagare un prezzo più elevato ed il venditore di riceverne uno più basso<sup>190</sup>. Al fine di misurare il rischio di liquidità nel mercato delle criptovalute, nel terzo capitolo di questa trattazione si è fatto ricorso al differenziale denaro-lettera (conosciuto anche come *spread bid-ask*).

---

<sup>187</sup> Hull, J. (2015). Risk management and financial institutions. *John Wiley & Sons*.

<sup>188</sup> <https://www.investopedia.com/terms/t/trackingerror.asp> (accesso in data 02/08/2019)

<sup>189</sup> Keim, D. B. (1999). An analysis of mutual fund design: the case of investing in small-cap stocks. *Journal of Financial Economics*, 51(2), 173-194.

<sup>190</sup> <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/liquidita.htm> (accesso in data 02/08/2019)

Esso è definito come la differenza tra il prezzo denaro (ossia il *bid price*) ed il prezzo lettera (ossia l'*ask price*) quotati dal *dealer* o dal *market maker* su un determinato strumento finanziario negoziato in un mercato. Attraverso lo *spread*, sono risolti i divari temporali tra gli ordini di acquisto e gli ordini di vendita non sincroni presentati in un determinato mercato<sup>191</sup>. Gli individui che desiderano acquistare un titolo presso un mercato comprano dal *dealer* o *market maker* pagando ad esso il prezzo lettera (*ask price*). Viceversa, i soggetti che desiderano cedere un titolo presso un mercato vendono al *dealer* o *market maker* ricevendo da esso il prezzo denaro (*bid price*)<sup>192</sup>. Come sostenuto da Yakov Amihud e Haim Mendelson, il prezzo lettera quotato incorpora il premio per l'acquisto immediato, mentre il prezzo denaro quotato incorpora il costo richiesto per una vendita immediata<sup>193</sup>. Per questo, il differenziale denaro-lettera relativo ad un *asset* finanziario può essere considerato una misura di liquidità di esso nel mercato. Più ampio è lo *spread*, meno liquido è lo strumento. Di regola, in un istante temporale il prezzo denaro è sempre minore del prezzo lettera. Il differenziale denaro-lettera può anche essere espresso in forma percentuale, dividendolo per il suo prezzo lettera. In questa forma, lo *spread bid-ask* può essere usato per comparare la liquidità di un titolo finanziario con un altro<sup>194</sup>.

Considerato un determinato giorno  $t$ , lo *spread bid ask* percentuale  $s$  relativo ad uno strumento finanziario  $i$  è dato dalla seguente formula:

$$s_t^i = \frac{\text{bid price}_t^i - \text{ask price}_t^i}{\text{ask price}_t^i}$$

Con la descrizione del differenziale denaro-lettera si conclude questo capitolo dedicato all'esposizione dei tratti essenziale di un *exchange-traded fund* e della metodologia che sarà applicata nel terzo capitolo di questa trattazione. Nel prossimo capitolo, saranno descritti i dati raccolti e utilizzati e saranno esposti i risultati dello studio effettuato al fine di verificare una possibile implementazione di un ETF sulle criptovalute.

---

<sup>191</sup> Amihud, Y., & Mendelson, H. (1986). Liquidity and stock returns. *Financial Analysts Journal*, 42(3), 43-48.

<sup>192</sup> <https://www.investopedia.com/terms/b/bid-askspread.asp> (accesso in data 02/08/2019)

<sup>193</sup> Amihud, Y., & Mendelson, H. (1986). Asset pricing and the bid-ask spread. *Journal of financial Economics*, 17(2), 223-249.

<sup>194</sup> <https://www.investopedia.com/terms/b/bid-askspread.asp> (accesso in data 02/08/2019)

## CAPITOLO 3

### Descrizione dei dati raccolti ed analisi empirica

#### 3.1 Descrizione dei dati

Giunti a questo punto, si presentano i dati raccolti per poter svolgere il lavoro empirico che costituisce l'oggetto principale di questa trattazione, illustrato nel secondo paragrafo di questo capitolo.

In primo luogo, sono descritte le variabili prese in considerazione, la fonte utilizzata e l'orizzonte temporale applicato al set di dati coinvolti nel calcolo dell'indice rappresentativo del mercato delle criptovalute e la sua successiva analisi descrittiva.

Successivamente, sono esposte le variabili selezionate, la fonte utilizzata ed il periodo temporale applicato ai dati reperiti per testare una possibile correlazione dei rendimenti dell'indice CRIX con i rendimenti dei principali indici di mercato ed *asset* di investimento, come lo S&P500 e l'oro.

Infine, sono presentate le variabili considerate, la fonte utilizzata e l'intervallo di tempo applicato ai dati reperiti allo scopo di verificare la liquidità del settore delle monete cripto.

Per calcolare l'indice di mercato delle valute cripto, è stato raccolto un *dataset* composto da 1716 monete. Considerato che attualmente il sito web *CoinMarketCap.com* attesta l'esistenza di 2419 valute cripto al 5 agosto 2019, il campione selezionato può essere decisamente ritenuto vasto dal punto di vista delle variabili considerate<sup>195</sup>. I dati sono stati reperiti dal già citato sito web *CoinMarketCap.com*.

Per ciascuna moneta, sono stati presi i valori giornalieri relativi ai prezzi di chiusura, alla capitalizzazione di mercato ed al volume scambiato. L'unità di misura di tutte le grandezze appena esposte è il dollaro statunitense.

L'orizzonte temporale selezionato ha inizio il 1° agosto 2014 e si conclude il 29 novembre 2018. Sfortunatamente, non è stato possibile reperire valori più recenti a causa dell'elevato numero di variabili considerate, e si è preferito sacrificare una maggiore vicinanza temporale del *dataset* pur di lavorare con un numero elevato di variabili, poiché lo scopo è quello di costruire un indice del settore in grado di poterlo rappresentare il più fedelmente possibile. Di conseguenza, lavorare con un insieme di dati con un numero ridotto di variabili avrebbe comportato in partenza una scarsa probabilità di riuscita dell'obiettivo in questione.

A causa dell'ampiezza del set di dati, qui non viene effettuata una descrizione sommaria di ogni valuta appartenente ad esso. Al riguardo, si ricorda al lettore l'esposizione in forma dettagliata

---

<sup>195</sup> <https://coinmarketcap.com/>

riguardante Bitcoin, ed in forma sintetica per le altre nove monete cripto con la capitalizzazione più alta ad inizio maggio del 2019 effettuata rispettivamente nei paragrafi 1.3 e 1.4 del primo capitolo di questo elaborato.

Qui in basso sono riportati, a puro scopo esemplificativo, i nomi di cento criptovalute appartenenti all'insieme di dati utilizzati (**figura 3.1**):

Bitcoin	Tether	BitShares	Nano	AmberCoin
Ethereum	HyperCash	Nxt	ICON	Novacoin
Bitcoin Cash	Lisk	Banx	Ardor	Aeternity
Ripple	Bitcoin SV	Peercoin	Populous	Aurora
Dash	Binance Coin	Bytecoin	Stratis	DigiByte
Litecoin	Tron	Namecoin	Decred	Zilliqa
Bitcoin Gold	Dogecoin	Vertcoin	Bitcore	Siacoin
IOTA	UNUS SED LEO	YbCoin	Ark	Bytom
Cardano	Tezos	MonaCoin	VeChain	Pundi X
Monero	Chainlink	BlackCoin	Ontology	Primecoin
Ethereum Classic	Cosmos	Counterparty	Maker	DigitalNote
NEM	Steem	FairCoin	0x	Infinitecoin
NEO	Augur	FuelCoin	TrueUSD	Bitcoin Diamond
EOS	MaidSafeCoin	NuShares	USD Coin	Revain
Stellar	Waves	SuperNET	GridCoin	Golem
BitConnect	Factom	Omni	Rubycoin	Status
Qtum	DigixDAO	BitcoinDark	Emercoin	DAO
OmiseGO	Iconomi	NuBits	Clams	HyperSpace
Lisk	GameCredits	CloakCoin	Startcoin	Komodo
Zcash	Gulden	Verge	Global Currency Reserve	SALT

**Figura 3.1.** Cento esempi di monete cripto all'interno del database.

Allo scopo di verificare una possibile correlazione tra il mercato delle valute cripto ed i principali mercati ed *asset* finanziari a livello globale, sono state reperite le serie storiche dei rendimenti giornalieri dell'indice CRIX (costruito in questa stessa trattazione) e dei rendimenti giornalieri dei principali indici di mercato ed *asset* finanziari di investimento.

Nel caso del CRIX, la serie storica dei rendimenti è stata ricavata mediante la seguente procedura: calcolo dei logaritmi naturali dei valori dell'indice CRIX e successiva computazione del rendimento del giorno  $t$  mediante la sottrazione tra il logaritmo del valore di CRIX registrato al tempo  $t$  ed il logaritmo del valore di CRIX registrato al tempo  $t-1$ . In altre parole, il rendimento logaritmico dell'indice CRIX al tempo  $t$  è dato dalla seguente formula:

$$r_t^{CRIX} = \ln(CRIX_t) - \ln(CRIX_{t-1})$$



Dal momento che, come si vedrà nella sezione 3.2.1, l'indice CRIX costruito qui ha un orizzonte temporale compreso tra il 30 novembre 2014 ed il 29 novembre 2018, la serie storica dei rendimenti giornalieri logaritmici di tale indice è stata calcolata tra il 1° dicembre 2014 ed il 29 novembre 2018.

Invece, nel caso dei principali strumenti finanziari di investimento, le serie storiche sono state ottenute dal *Bloomberg Terminal*<sup>196</sup>, mediante il ricorso all'*add-in* dedicato in Microsoft Excel e l'utilizzo della funzione "CHG\_PCT\_1D", la quale restituisce le variazioni del prezzo di un determinato bene finanziario nell'arco di un giorno. Anche qui, l'orizzonte temporale è compreso tra il 1° dicembre 2014 ed il 29 novembre 2018.

In particolare, sono state reperite le serie storiche relative a 13 diversi indici ed *asset* finanziari, i cui codici e nomi completi sono esposti nella tabella in fondo alla pagina (**figura 3.2**).

Preme ricordare che nell'analisi empirica è considerato, oltre ai 13 beni sopra menzionati, anche il *Treasury Bill* con scadenza 4 settimane, i cui rendimenti giornalieri storici sono stati reperiti, come già detto nel paragrafo 2.5, dal noto database online curato da French, sempre con orizzonte temporale compreso tra il 1° dicembre 2014 ed il 29 novembre 2018.

<b>CODICE BLOMBERG</b>	<b>NOME COMPLETO</b>
SPX Index	Standard & Poor's 500 Index
RTY Index	Russell 2000 Index
SHCOMP Index	Shanghai Stock Exchange Composite Index
NKY Index	Nikkei 225 Index
SX5E Index	EURO STOXX 50 Index
FTSEMIB Index	FTSE MIB Index
UKX Index	FTSE 100 Index
DAX Index	Deutsche Boerse AG German Stock Index
SPGSCI Index	S&P GSCI Index
CL1 Comdty	Nymex WTI Crude Oil Future
CO1 Comdty	ICE Brent Crude Oil Future
XAU Curncy	Tasso di cambio spot oro-dollaro USA
RMZ Index	MSCI US REIT Index

**Figura 3.2.** Principali indici ed asset finanziari mondiali.

<sup>196</sup> Il Bloomberg Terminal è un software per computer fornito dalla società di servizi finanziari ed agenzia di stampa Bloomberg LP. Il software consente l'accesso al servizio Bloomberg Professional attraverso il quale gli utenti possono monitorare ed analizzare i dati dei mercati finanziari in tempo reale e fare scambi tramite la piattaforma di commercio elettronico. Fonte: Bloomberg.com <https://www.bloomberg.com/professional/>

Lo *Standard & Poor's 500 Index* è il più importante indice azionario nordamericano. Questo paniere, creato da Standard & Poor's, contiene 500 titoli azionari di altrettante società quotate a New York (NYSE e Nasdaq), rappresentative dell'80% circa della capitalizzazione di mercato, che vengono selezionate da un apposito comitato<sup>197</sup>. Le imprese appartenenti all'indice hanno un peso al suo interno proporzionale alla loro capitalizzazione di mercato flottante, ossia a quella frazione di capitalizzazione acquistabile in un mercato cioè titoli non detenuti dagli Stati, dai blocchi di controllo o da azionisti legati da patti di sindacato. La capitalizzazione flottante è semplicemente il prodotto del numero di titoli flottanti moltiplicati per i prezzi di detti titoli<sup>198</sup>.

Il *Russell 2000 Index* è un indice azionario che misura l'andamento delle 2000 società quotate nel mercato statunitense con minore capitalizzazione facenti parte del *Russell 3000 Index*, il quale invece misura l'andamento delle 3000 società quotate nel mercato statunitense con maggiore capitalizzazione in assoluto. Molti investitori confrontano le prestazioni dei fondi comuni di investimento a piccola capitalizzazione con l'indice Russell 2000 perché esso riflette l'opportunità di rendimento presentata da questa sezione del mercato azionario statunitense<sup>199</sup>. Anche in questo indice, le imprese appartenenti hanno un peso al suo interno proporzionale alla loro capitalizzazione di mercato flottante<sup>200</sup>.

Lo *Shanghai Stock Exchange Composite Index* è un indice azionario cinese che riflette la variazione complessiva dei prezzi delle azioni quotate presso lo *Shanghai Stock Exchange*, il mercato azionario di Shanghai. Tale indice include al suo interno tutte le azioni negoziate presso la borsa appena nominata, ed è pesato per la capitalizzazione di mercato<sup>201</sup>.

Il *Nikkei 225 Index* è un indice azionario giapponese che misura l'andamento delle prime 225 società quotate presso la *Tokyo Stock Exchange*, la Borsa di Tokyo, per capitalizzazione di mercato. Esso è usato come *benchmark* principale del mercato azionario giapponese. A differenza di tutti gli indici precedentemente menzionati, le imprese appartenenti hanno un peso al suo interno proporzionale al loro prezzo<sup>202</sup>.

---

<sup>197</sup>*Index Mathematics Methodology - S&P Dow Jones Indices.*  
<https://us.spindices.com/documents/methodologies/methodology-sp-us-indices.pdf>. Accesso in data 02/05/2019

<sup>198</sup> <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/sp500.htm> (accesso in data 12/08/2019)

<sup>199</sup> <https://www.investopedia.com/terms/r/russell2000.asp> (accesso in data 14/08/2019)

<sup>200</sup> <https://research.ftserussell.com/products/downloads/Russell-US-indexes.pdf> (accesso in data 14/08/2019)

<sup>201</sup> <http://www.csindex.com.cn/en/indices/index-detail/000001> (accesso in data 14/08/2019)

<sup>202</sup> *Nikkei Stock Average FactSheet.*  
[https://indexes.nikkei.co.jp/nkave/archives/file/nikkei\\_stock\\_average\\_factsheet\\_en.pdf](https://indexes.nikkei.co.jp/nkave/archives/file/nikkei_stock_average_factsheet_en.pdf) (accesso in data 15/08/2019)

L'*EURO STOXX 50 Index* è un indice azionario rappresentativo delle prime 50 imprese appartenenti all'Eurozona secondo il criterio della capitalizzazione di mercato flottante. Le società appartenenti hanno un peso al suo interno proporzionale alla loro capitalizzazione di mercato flottante<sup>203</sup>. L'indice è utilizzato dalle istituzioni finanziarie come riferimento per un'ampia gamma di prodotti di investimento come *exchange-traded fund*, *future*, opzioni e prodotti strutturati in tutto il mondo<sup>204</sup>.

Il *FTSE MIB* è l'indice di riferimento per il mercato azionario italiano. Questo indice, che rappresenta circa l'80% della capitalizzazione di tale mercato, è composto da azioni di primaria dimensione e liquidità appartenenti al mercato azionario italiano. L'indice misura la performance di 40 azioni quotate su Borsa Italiana con l'obiettivo di replicare la composizione settoriale del mercato azionario italiano. L'indice è stato creato per essere adatto al trading di futures e opzioni, come *benchmark* per gli *exchange-traded funds* e per il *tracking* delle azioni a elevata capitalizzazione del mercato italiano. L'indice FTSE MIB è ponderato in base alla capitalizzazione di mercato corretta per il flottante<sup>205</sup>.

Il *FTSE 100 Index* è un indice azionario rappresentativo delle prime 100 società quotate presso il *London Stock Exchange* (il mercato azionario di Londra) secondo il criterio della capitalizzazione di mercato<sup>206</sup>.

Le società appartenenti hanno un peso al suo interno proporzionale alla loro capitalizzazione di mercato flottante<sup>207</sup>.

Questo indice è spesso considerato come una misura di prosperità per le imprese del Regno Unito e della relativa economia in generale<sup>208</sup>.

---

<sup>203</sup> *STOXX Index Methodology Guide*.

[https://www.stoxx.com/document/Indices/Common/Indexguide/stoxx\\_index\\_guide.pdf](https://www.stoxx.com/document/Indices/Common/Indexguide/stoxx_index_guide.pdf) (accesso in data 15/08/2019)

<sup>204</sup> <https://www.stoxx.com/index-details?symbol=SX5E> (accesso in data 15/08/2019)

<sup>205</sup> *Indice FTSE MIB – Metodologia di Gestione*.  
[https://research.ftserussell.com/products/downloads/FTSE\\_MIB\\_Index\\_Italian\\_.pdf](https://research.ftserussell.com/products/downloads/FTSE_MIB_Index_Italian_.pdf) (accesso in data 15/08/2019)

<sup>206</sup> *FTSE UK Index Series Rules*.  
[https://research.ftserussell.com/products/downloads/FTSE\\_UK\\_Index\\_Series.pdf](https://research.ftserussell.com/products/downloads/FTSE_UK_Index_Series.pdf) (accesso in data 16/08/2019)

<sup>207</sup> *FTSE UK Index Series Guide to Calculation*.  
[https://research.ftserussell.com/products/downloads/FTSE\\_UK\\_Index\\_Series\\_Guide\\_to\\_Calc.pdf](https://research.ftserussell.com/products/downloads/FTSE_UK_Index_Series_Guide_to_Calc.pdf) (accesso in data 16/08/2019)

<sup>208</sup> <https://www.investopedia.com/terms/f/ftse.asp> (accesso in data 16/08/2019)

Il *Deutsche Boerse AG German Stock Index*, più conosciuto come *DAX Index*, è un indice azionario rappresentativo delle prime 30 aziende quotate presso il *Frankfurt Stock Exchange* (il mercato azionario di Francoforte) secondo il criterio della capitalizzazione di mercato. Le società appartenenti hanno un peso al suo interno proporzionale alla loro capitalizzazione di mercato flottante. Il *DAX Index* misura quindi la variazione complessiva dei prezzi dei titoli azionari delle principali imprese quotate in Germania<sup>209</sup>.

Il *S&P GSCI Index* è un indice che misura la prestazione del mercato delle *commodity*<sup>210</sup> a livello globale. Esso rappresenta un *benchmark* per gli investimenti in tale mercato. All'interno di questo indice, sono incluse le principali materie prime per le quali esistono dei contratti *futures* negoziati presso i mercati finanziari attivi e liquidi. I membri dello *S&P GSCI Index* sono ponderati per la loro quantità prodotta<sup>211</sup>.

Il *NYMEX WTI Light Sweet Crude Oil Future* è un tipo di contratto *future* avente come sottostante il petrolio greggio, in particolare il tipo *West Texas Intermediate* (WTI). Tale contratto costituisce uno dei due *benchmark* utilizzati per rappresentare la dinamica del mercato mondiale del petrolio<sup>212</sup>. Questo *future* può essere scambiato presso il *New York Mercantile Exchange* (NYMEX), mercato nel quale si acquistano e vendono contratti derivati aventi come sottostanti fonti energetiche<sup>213</sup>. Secondo la nomenclatura utilizzata da Bloomberg, CL1 simboleggia il contratto *futures* sul petrolio di tipo WTI con la scadenza più vicina nell'istante temporale considerato<sup>214</sup>.

L'altro *benchmark* utilizzato per seguire l'andamento globale del mercato del petrolio è l'*ICE Brent Crude Oil Future*. Esso è un tipo di contratto *future* avente come sottostante il petrolio greggio di tipo Brent. Questo *future* può essere scambiato presso l'*Intercontinental Exchange*

---

<sup>209</sup> *Factsheet DAX*. <https://www.dax-indices.com/document/Resources/Guides/Factsheet%20DAX.pdf> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>210</sup> Con il termine *Commodity* ci si riferisce alle materie prime, ovvero a quella particolare categoria di beni che viene scambiata sul mercato senza differenze qualitative. Si tratta più nello specifico di beni cosiddetti fungibili, che sono quindi sostituibili nella soddisfazione del bisogno cui sono collegati, indipendentemente da chi li produce (per ulteriori informazioni si rimanda a <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/commodity.htm>, consultato in data 16/08/2019)

<sup>211</sup> *S&P GSCI Index Methodology*. <https://us.spindices.com/indices/commodities/sp-gsci> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>212</sup> <https://www.investopedia.com/terms/c/crude-oil.asp> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>213</sup> NYMEX. <https://www.cmegroup.com/company/nymex.html> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>214</sup> <https://www.bloomberg.com/quote/CL1:COM> (accesso in data 16/08/2019)

(ICE)<sup>215</sup>. Secondo la nomenclatura utilizzata da Bloomberg, CO1 simboleggia il contratto *future* sul petrolio di tipo Brent e negoziato sull'ICE con la scadenza più vicina nell'istante temporale considerato<sup>216</sup>.

Il tasso di cambio *spot* (ossia a pronti) oro-dollaro USA rappresenta la quantità di dollari statunitensi necessaria per acquistare una oncia d'oro con scambio immediato.

Il *MSCI US REIT Index* è un indice i cui 151 membri sono costituiti da *Real Estate Investment Trusts* (REITs) di tipo azionario e statunitensi<sup>217</sup>. Essi sono società che detengono e gestiscono proprietà immobiliari, come appartamenti, alberghi, infrastrutture, centri commerciali, terreni, magazzini e così via, i quali generano flussi di cassa mediante l'affitto o la vendita degli immobili, successivamente distribuiti agli investitori in REITs<sup>218</sup>. Tali società sono pesate all'interno di questo indice in maniera proporzionale alla capitalizzazione di mercato flottante<sup>219</sup>.

Per calcolare il livello di liquidità del mercato delle monete crypto mediante l'analisi del differenziale denaro-lettera, è stato raccolto un insieme di dati composto da quei beni per i quali erano disponibili informazioni relative il prezzo *bid* ed il prezzo *ask* su base giornaliera.

I dati sono stati ottenuti dal *Bloomberg Terminal*, mediante il ricorso all'*add-in* dedicato in Microsoft Excel e l'utilizzo delle funzioni "PX\_ASK" e "PX\_BID", le quale restituiscono rispettivamente l'ultimo prezzo lettera e l'ultimo prezzo denaro di un determinato bene finanziario registrato in un determinato giorno. I prezzi reperiti sono espressi in dollari statunitensi. A causa della carenza di informazioni disponibili, l'orizzonte temporale qui considerato va dal 2 maggio 2018 al 30 agosto 2019. Le criptovalute per le quali è stato possibile ottenere dei dati al riguardo sono Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, Bitcoin Cash, EOS, Ethereum Classic, Dash, Monero e Zcash. Inoltre, per poter avere un parametro di riferimento rispetto ai principali mercati finanziari liquidi, nel set di dati è stato incluso anche l'*iShares Russell 2000 ETF*, il quale costituisce, tra gli *exchange-traded fund* aventi come indice di riferimento il Russell 2000, quello più scambiato al mondo.

Per poter avere una misura paragonabile tra i vari *asset* finanziari, è stato fatto ricorso allo *spread bid-ask* percentuale (per una sua spiegazione si rimanda alla sezione 2.8 di questo elaborato).

---

<sup>215</sup> ICE. <https://www.theice.com/index> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>216</sup> <https://www.bloomberg.com/quote/CO1:COM> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>217</sup> <https://www.msci.com/msci-us-reit-index> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>218</sup> <https://www.investopedia.com/terms/r/reit.asp> (accesso in data 16/08/2019)

<sup>219</sup> <https://www.msci.com/msci-us-reit-index> (accesso in data 16/08/2019)

## 3.2 Analisi empirica

### 3.2.1 Costruzione dell'indice ed analisi storica della sua prestazione

Prima di tutto, è stato utilizzato l'insieme di dati composto dalle 1716 monete cripto reperite su *CoinMarketCap.com* al fine di costruire l'indice secondo la metodologia illustrata nel paragrafo 2.3. Tale metodologia è stata implementata mediante un file di codici (o *script*), denominato *CRIXcode.R*, scritto ed eseguito sul software per la manipolazione di dati, il calcolo e la visualizzazione di dati  $R^{220}$ . Tale file è reso pubblico da Trimborn e Härdle, insieme agli altri *script* da loro creati, sulla piattaforma online *GitHub.com*<sup>221</sup>.

La serie storica dell'indice CRIX generata dal file sopra menzionato è rappresentata nella **figura 3.3**. Il primo valore corrisponde al valore iniziale, fissato a 1000, in data 30 novembre 2014.



**Figura 3.3.** Serie storica dell'indice CRIX. Orizzonte temporale: 30/11/2014-29/11/2018

Come si può subito osservare, l'indice, dall'inizio di maggio 2017, ha cominciato ad assumere valori molto alti, al punto da superare quota 10000 alla fine di quel mese. Inoltre, tale aumento è risultato duraturo poiché, nonostante il crollo del mercato delle valute cripto a seguito dello scoppio della bolla speculativa avvenuto all'inizio del 2018<sup>222</sup>, l'indice non ha assunto più alcun

<sup>220</sup> <https://www.r-project.org/>

<sup>221</sup> <https://github.com/QuantLet/CRIX>

<sup>222</sup> Smith, N. (2018). Yep, Bitcoin Was a Bubble. And It Popped. *Bloomberg*. Disponibile su <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2018-12-11/yep-bitcoin-was-a-bubble-and-it-popped> (accesso in data 18/08/2019)

valore vicino a quelli osservati prima della fine di aprile 2017. Infatti, il 26 novembre 2018 l'indice CRIX ha un valore pari a 12539,40, e costituisce il minimo della serie storica dopo l'esplosione della bolla speculativa. Per osservare un valore della serie più piccolo, si deve tornare al 14 settembre 2017, quando il CRIX era pari a 11955,12. Quindi, tale mercato, nel periodo considerato, è diventato quasi quindici volte più grande nel giro di quattro anni: un tasso di crescita eccezionale, non paragonabile con i tradizionali asset di investimento. Oltretutto, prima dello scoppio della bolla speculativa, tale crescita era pari a circa 85 volte.

Dalla **figura 3.3**, è facile notare come l'enorme differenza tra i valori assunti storicamente dal CRIX non permetta di cogliere la dinamica dell'indice nell'orizzonte temporale tra il 30/11/2014 ed il 30/04/2017 in maniera adeguata.

Per questo, nella **figura 3.4** è presente il grafico della serie storica dell'indice CRIX osservata in tale periodo temporale.



**Figura 3.4.** Serie storica dell'indice CRIX. Orizzonte temporale: 30/11/2014-30/04/2017

Come si può vedere dalla **figura 3.4**, l'indice CRIX ha inizialmente avuto dei valori minori di 1000. Di conseguenza, il mercato delle monete cripto ha avuto una fase di contrazione, il cui picco negativo è stato registrato il 14 gennaio 2015, quando l'indice aveva un valore di 517,68, ossia quasi la metà del valore iniziale. Il rendimento periodale è stato del -48,23%. A partire da dicembre del 2015, dopo un periodo nel quale la serie storica è stata approssimativamente piatta e quasi sempre al di sotto del valore iniziale, il CRIX presenta un trend crescente, arrivando a 4692,70 il

30 aprile 2017, conseguendo così un rendimento nell'intero orizzonte temporale considerato nella figura 3.4 pari al 369,27%, il quale annualizzato per 365 giorni<sup>223</sup> diventa l'89,61%. Per avere un termine di paragone, nello stesso periodo l'indice Standard & Poor's 500 ha registrato un rendimento annualizzato del 6,46%, quasi 14 volte meno del CRIX.

Nella **figura 3.5** sono stati riportati alcuni valori della serie storica del CRIX. Non si è scelto di mostrare tutti i valori per questioni di spazio (la serie è composta da 1461 osservazioni). Comunque sia, si ritiene sufficiente tale rappresentazione parziale, la quale, congiuntamente ai grafici presentati nelle **figure 3.3** e **3.4**, può permettere una conoscenza preliminare della prestazione dell'indice costruito per rappresentare il mercato delle monete cripto.

Sono stati mostrati nella **figura 3.5** quei valori menzionati finora, più i valori assunti dal CRIX alla fine di ogni trimestre considerato ed il valore massimo della serie, assunto il 7 gennaio 2018.

Data	CRIX
30/11/2014	1000,00
14/01/2015	517,68
28/02/2015	695,50
31/05/2015	607,64
31/08/2015	609,81
30/11/2015	931,26
29/02/2016	1161,13
31/05/2016	1459,78
31/08/2016	1565,36
30/11/2016	1870,27
28/02/2017	2940,56
30/04/2017	4692,70
31/05/2017	10317,54
31/08/2017	18871,70
14/09/2017	11955,12
30/11/2017	34208,87
07/01/2018	86816,61
28/02/2018	45783,23
31/05/2018	32680,68
31/08/2018	23398,19
26/11/2018	12539,40
29/11/2018	13921,25

**Figura 3.5.** Alcuni valori assunti dalla serie storica dell'indice CRIX. Orizzonte temporale: 30/11/2014-29/11/2018

Trimestre	Numero membri CRIX
dic14-feb15	10
mar15-mag15	30
giu15-ago15	20
set15-nov15	45
dic15-feb16	25
mar16-mag16	55
giu16-ago16	40
set16-nov16	35
dic16-feb17	40
mar17-mag17	30
giu17-ago17	10
set17-nov17	5
dic17-feb18	40
mar18-mag18	20
giu18-ago18	15
set18-nov18	15

**Figura 3.6.** Numero dei componenti dell'indice CRIX in ogni trimestre considerato. Orizzonte temporale: 30/11/2014-29/11/2018

Invece, nella **figura 3.6** sono mostrati i diversi numeri di componenti all'interno dell'indice del mercato delle valute cripto in ogni trimestre. Come si è detto precedentemente nella sezione 2.3 di

<sup>223</sup> È stato scelto 365 (e non 252, come è la prassi), in quanto le criptovalute possono essere scambiate nelle rispettive piattaforme ogni giorno. Si veda Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)



questo elaborato, il numero di membri dell'indice non è tenuto fisso, ma alla fine di ogni trimestre è rivisto in modo da essere adattato all'effettivo andamento del mercato durante il trimestre concluso e successivamente utilizzato per il trimestre successivo. Inoltre, il numero di componenti è sempre un multiplo di 5.

Si può notare subito come solamente in un trimestre (da settembre 2017 a novembre 2017) il CRIX abbia il minor numero possibile di membri, ossia 5. Di conseguenza, si potrebbe ritenere che Bitcoin, nonostante sia il bene che domina il mercato delle monete cripto, non sia in grado di rappresentarlo nella sua quasi totalità. Risulterebbe quindi necessario investire in altre monete, al fine di poter seguire il più fedelmente possibile l'andamento del mercato delle valute cripto. Il CRIX detiene al suo interno il maggior numero di membri nel trimestre che include i mesi di marzo, aprile e maggio 2016, quando tale valore è pari a 55 diverse criptovalute. Si tratta comunque di un numero modesto, se si tiene conto che alcuni tra gli *exchange-traded fund* più scambiati al mondo tentano di replicare indici con un numero di membri decisamente più elevato al suo interno, come per esempio lo S&P 500 ed il Russell 2000 (lo *SPDR S&P 500 ETF Trust* e l'*iShares Russell 2000 ETF* sono due esempi di ETF con un volume di scambi sui mercati finanziari molto grande<sup>224</sup>). Quindi, si potrebbe concludere che un indice come il CRIX possa essere ritenuto idoneo ad essere replicato da parte di una società che ha l'intenzione di creare un simile strumento finanziario in tale settore. A favore di questa tesi, si potrebbe notare come storicamente tra due trimestri consecutivi il numero di componenti non varia eccessivamente, ma tale differenza si attesta intorno ai 15-20 membri. La variazione più ampia si registra alla fine di novembre 2017, dove la metodologia utilizzata impone al CRIX di aggiungere alle 5 valute cripto già presenti al suo interno altre 35 monete per il trimestre successivo. Tale situazione potrebbe non essere casuale, dal momento che proprio in quei mesi considerati si è verificato l'aumento della bolla speculativa già spiegata in questa sezione, con un incremento considerevole della capitalizzazione di mercato e degli scambi aventi ad oggetto non solo Bitcoin, ma anche altre monete, probabilmente poco considerate prima di tale evento rispetto alla valuta ideata da Nakamoto. Di conseguenza, questa variazione eccezionale del numero di componenti tra due trimestri consecutivi dovrebbe essere imputabile ad eventi non ordinari, avvalorando ulteriormente quanto detto sinora.

A questo punto, sarebbe lecito domandarsi se l'indice appena definito sia realmente in grado di seguire i movimenti del mercato che tenta di rappresentare. Per questo sono state utilizzate due

---

<sup>224</sup> Roy, S. (2019). 15 Most Actively Traded ETFs. *Yahoo Finance*. Disponibile su <https://finance.yahoo.com/news/15-most-actively-traded-etfs-180000214.html> (accesso in data 19/08/2019)

misure: l'errore medio assoluto percentuale (*Mean Absolute Percentage Error*, MAPE) e la *Mean Directional Accuracy* (MDA). Entrambe sono delle misure che stimano l'accuratezza di una serie di valori predetti rispetto a quelli effettivi. La prima tecnica statistica può essere definita dalla seguente formula:

$$MAPE\{CRIX(k)\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{TMI(k_{max})_t - CRIX(k)_t}{TMI(k_{max})_t} \right| \times 100^{225}$$

dove  $T$  è il numero di osservazioni delle serie storica dei due indici. Tale misura fornisce la media degli errori assoluti divisi per i rispettivi valori realizzati (ossia il TMI) espressi in forma percentuale del CRIX rispetto all'indice che tenta di rappresentare il più fedelmente possibile, ossia il TMI, come spiegato nella sezione 2.3 di questa trattazione. Per costruzione, il MAPE è espresso in forma percentuale ed è sempre maggiore o uguale a zero.

Come già detto, il *Total Market Index* contiene *tutte* le valute cripto esistenti per le quali sono disponibili dati. Quindi, la sua serie storica fornisce l'andamento reale del mercato delle criptomonete, poiché sfrutta tutte le informazioni disponibili sulle variabili di interesse reperibili per il maggior numero possibile di valute cripto  $k_{max}$  (prezzo, capitalizzazione di mercato e volume scambiato in dollari).

La seconda tecnica utilizzata è la *Mean Directional Accuracy*. Definita dalla seguente formula:

$$MDA\{CRIX(k)\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \mathbf{I}[\text{sign}\{TMI(k_{max})_t - TMI(k_{max})_{t-1}\} = \text{sign}\{CRIX(k)_t - CRIX(k)_{t-1}\}]$$

dove  $\mathbf{I}(\cdot)$  è la funzione indicatrice e  $\text{sign}(\cdot)$  è la funzione segno<sup>226</sup>.

Tale tecnica serve per verificare possibili differenze tra i movimenti dell'indice CRIX e i movimenti dell'indice TMI. In questo caso, la funzione indicatrice assume un valore pari a 1 se il segno della differenza tra i valori assunti dal TMI in due giorni consecutivi è identico al segno della differenza tra i valori assunti dal CRIX in due giorni consecutivi. In caso contrario, il valore assunto è pari a 0. Invece, la funzione segno è un tipo di funzione che assume valore 1, 0 o -1 nel caso in cui, rispettivamente, la differenza presa in considerazione sia positiva, nulla o negativa. La MDA può assumere dei valori compresi tra 0 e 1. Più alto è tale numero, maggiormente accurata è la previsione, e di conseguenza l'indice CRIX tende a seguire la stessa direzione dell'indice completo TMI.

<sup>225</sup> Kim, S., & Kim, H. (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3), 669-679.

<sup>226</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN*: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)

Nella **figura 3.7** sono presentati i valori assunti dal *Mean Absolute Percentage Error* e dalla *Mean Direction Accuracy* dell'indice CRIX rispetto all'indice TMI.

	MAPE	MDA
CRIX vs TMI	1,379%	0,9877

**Figura 3.7.** MAPE e MDA dell'indice CRIX rispetto all'indice TMI.

Come possiamo vedere, entrambe le misure forniscono dei risultati soddisfacenti. Infatti, il valore del MAPE vicino a zero congiuntamente al valore della MDA prossimo a 1 dimostra come l'indice CRIX riesca nell'intento di seguire quasi fedelmente la direzione del mercato che tenta di rappresentare, sintetizzato dall'indice completo TMI. A maggior sostegno di quanto appena affermato, nella loro pubblicazione Trimborn e Härdle hanno stimato la MDA dell'indice DAX30 e dell'IPC35 (il principale indice azionario del mercato messicano<sup>227</sup>), ed in entrambi i casi hanno stimato dei valori minori di quello qui riportato per l'indice CRIX (rispettivamente 0,92 e 0,91<sup>228</sup>).

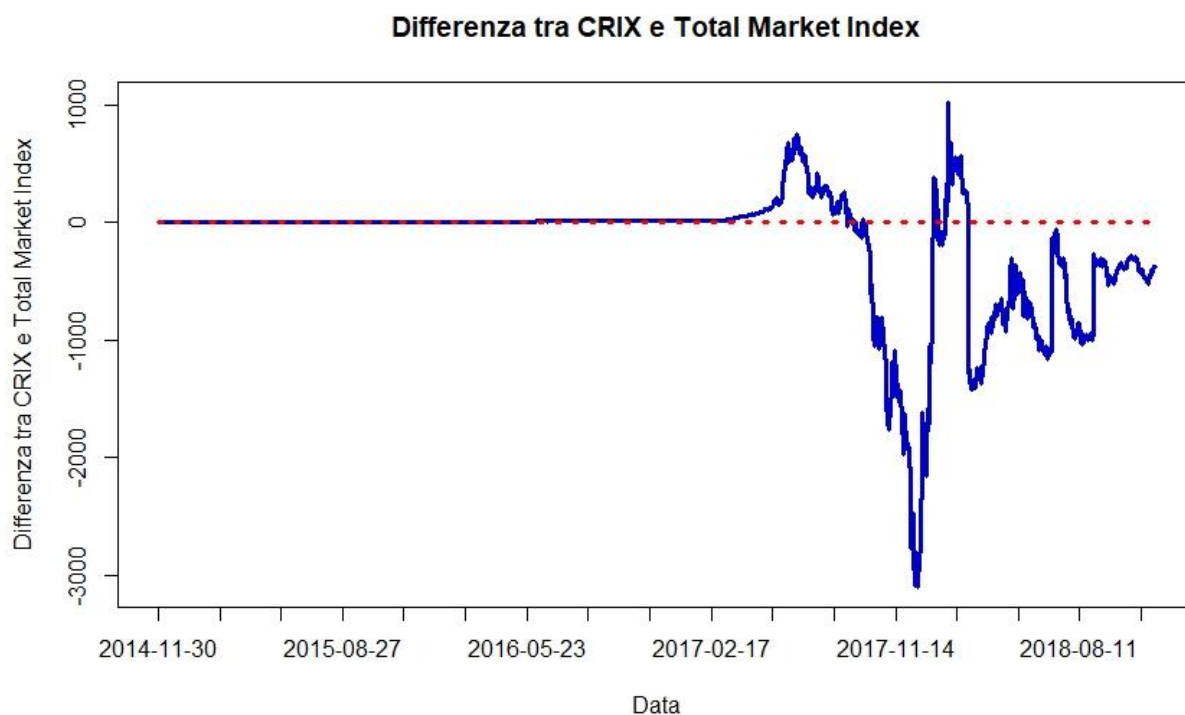
In merito alla capacità dell'indice CRIX nel seguire i movimenti del mercato che tenta di rappresentare, si osservi la **figura 3.8**, che rappresenta graficamente la differenza tra i valori assunti da esso e l'indice TMI nel periodo temporale compreso tra il 30 novembre 2014 ed il 29 novembre 2018, e la **figura 3.9**, che rappresenta graficamente la differenza tra i valori assunti da esso e l'indice TMI nel periodo temporale compreso tra il 30 novembre 2014 ed il 30 aprile 2017. Come si può notare, fino al 30 aprile 2017 le differenze tra i valori assunti sono quasi sempre positive ed inferiori a 20, ad eccezione della fine del periodo considerato nella **figura 3.9**, quando la differenza rimane positiva ma comincia ad aumentare in maniera consistente. In altre parole, l'indice CRIX sovrastima l'intero mercato delle criptomonete, il quale può essere rappresentato il più fedelmente ed accuratamente possibile dal TMI. La serie storica non è caratterizzata da una elevata volatilità: le differenze si concentrano in un intervallo relativamente piccolo. Al contrario, dopo il 30 aprile 2017 le differenze tra i due indici in valore assoluto diventano più volatili e più ampie. Ad una ulteriore sovrastima del settore ad opera del CRIX, si giunge, a partire da settembre ma soprattutto ottobre 2017 ad una sottostima consistente del mercato delle monete crypto, al punto da registrare, nella giornata del 16 dicembre 2017 una differenza tra i due indici pari a -3099,71 (valore minimo dei dati analizzati).

Successivamente, vi è una diminuzione di tale differenza, per poi diventare nuovamente positiva e giungere al suo massimo periodale, in data 30 gennaio 2018 (+1024,735). Dopo aver raggiunto

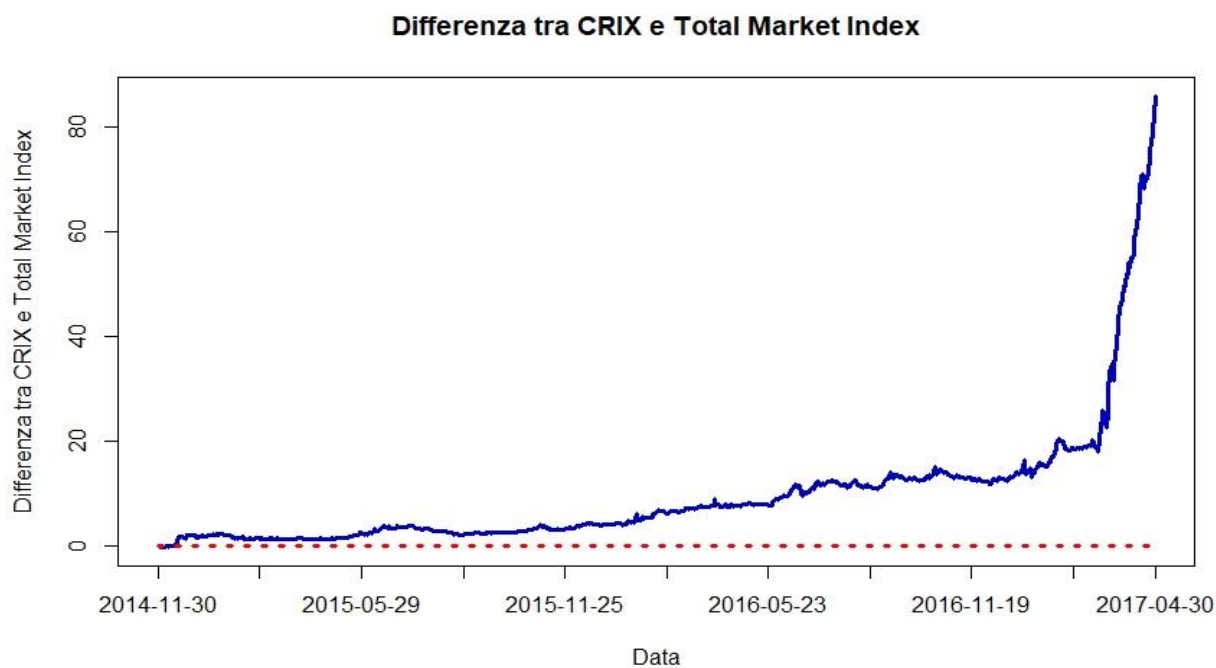
<sup>227</sup> *Prices and Quotations Index (MEXBOL) - Methodology Note*. <https://www.bmv.com.mx/>

<sup>228</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)*

il massimo, la differenza positiva tra i due indici si riduce per ritornare nuovamente negativa dal 1° marzo 2018. Da inizio marzo 2018 fino alla fine di novembre 2018, l'indice CRIX sottostima il settore delle criptovalute.



**Figura 3.8.** Differenza tra valori del CRIX e valori del TMI (linea blu). Orizzonte temporale: 30/11/2014-29/11/2018.



**Figura 3.9.** Differenza tra valori del CRIX e valori del TMI (linea blu). Orizzonte temporale: 30/11/2014-30/04/2017.

Nonostante quanto appena detto, si può notare come, storicamente, la tendenza del CRIX è quella, anche nelle situazioni nelle quali in cui si discosta maggiormente dal *Total Market Index*, di essere relativamente vicino ad un valore nullo, se tale differenza è comparata al valore assunto dall'indice di mercato totale TMI. Possiamo rendercene conto dividendo le differenze registrate ogni giorno per il rispettivo valore del TMI, nella seguente maniera:

$$|df_t| = \left| \frac{CRIX_t - TMI_t}{TMI_t} \right|$$

la scelta di considerare i valori assoluti è giustificabile dall'assunzione che il risultato desiderabile da parte dell'indice CRIX è la sua minimizzazione delle differenze tra esso ed il TMI: il segno di tale differenza non è influente.

Successivamente, si calcolano le statistiche descrittive dei valori di  $|df_t|$ , riassunte nella **figura 3.10**. Si sono selezionati due periodi temporali. Il primo comprende l'intero orizzonte temporale del *dataset* posseduto. Il secondo invece si concentra in quel periodo temporale nel quale le differenze tra i due indici sono state più ampie, in valore assoluto (e dove oltretutto inizia e scoppia nel gennaio 2018 la bolla speculativa) al fine di verificare se tra i due periodi effettivamente possano essere evidenziate delle differenze nette. Per quanto riguarda la deviazione standard, ciò non può essere detto. Al contrario, la differenza media tra il CRIX ed il TMI nel secondo periodo è quasi il doppio di quella registrata nel primo periodo. Tuttavia, una differenza media espressa in termini percentuali del 2,647% (ossia, se il TMI vale 1000, il CRIX vale 1026,47 oppure 973,53) può essere ritenuta contenuta, quindi accettabile.

df <sub>t</sub>	Periodo temporale	
	01/12/2014-29/11/2018	01/05/2017-29/11/2018
Media	0,01379	0,02647
Errore standard	0,00039	0,00070
Mediana	0,00671	0,02267
Moda	0,00390	0,01670
Deviazione standard	0,01497	0,01694
Varianza campionaria	0,00022	0,00029
Curtosi	2,39079	-0,27909
Asimmetria	1,73391	0,59095
Intervallo	0,08173	0,08160
Minimo	0,00001	0,00014
Massimo	0,08174	0,08174
Somma	20,13962	15,29992
Conteggio	1460	578

**Figura 3.10.** Statistiche descrittive della differenza in valore assoluto tra valori del CRIX e valori del TMI divisa per il secondo indice

Nell'orizzonte temporale considerato, la massima differenza percentuale in valore assoluto è pari

all'8,174%, in data 2 novembre 2017. Non è sorprendente che il massimo è registrato nel pieno della bolla speculativa.

Data	CRIX-TMI	TMI	dft	dft
01/11/2017	-1489,19	20306,18	-0,0733	0,0733
02/11/2017	-1711,17	20935,35	-0,0817	0,0817
03/11/2017	-1687,12	21600,55	-0,0781	0,0781
04/11/2017	-1764,33	21803,80	-0,0809	0,0809
05/11/2017	-1757,23	21830,87	-0,0805	0,0805
06/11/2017	-1537,57	21170,58	-0,0726	0,0726
07/11/2017	-1553,58	21474,76	-0,0723	0,0723
08/11/2017	-1440,10	22552,74	-0,0639	0,0639
09/11/2017	-1191,75	22322,14	-0,0534	0,0534
10/11/2017	-1334,20	21416,73	-0,0623	0,0623
11/11/2017	-1255,76	21907,99	-0,0573	0,0573
12/11/2017	-1089,04	21078,51	-0,0517	0,0517
13/11/2017	-1278,92	22357,67	-0,0572	0,0572
14/11/2017	-1214,57	22726,55	-0,0534	0,0534
15/11/2017	-1337,75	23977,26	-0,0558	0,0558
16/11/2017	-1474,26	24487,80	-0,0602	0,0602
17/11/2017	-1420,84	24812,92	-0,0573	0,0573
18/11/2017	-1375,09	25424,83	-0,0541	0,0541
19/11/2017	-1480,29	25805,90	-0,0574	0,0574
20/11/2017	-1528,70	26482,69	-0,0577	0,0577
21/11/2017	-1459,69	25995,40	-0,0562	0,0562
22/11/2017	-1429,85	27034,60	-0,0529	0,0529

Data	CRIX-TMI	TMI	dft	dft
23/11/2017	-1692,83	27565,66	-0,0614	0,0614
24/11/2017	-1798,12	28757,24	-0,0625	0,0625
25/11/2017	-1768,92	29838,21	-0,0593	0,0593
26/11/2017	-1974,27	31260,20	-0,0632	0,0632
27/11/2017	-1880,06	32390,08	-0,0580	0,0580
28/11/2017	-1633,20	33181,63	-0,0492	0,0492
29/11/2017	-1918,44	31121,70	-0,0616	0,0616
30/11/2017	-1814,28	32394,58	-0,0560	0,0560
01/12/2017	-1915,99	34551,05	-0,0555	0,0555
02/12/2017	-1893,78	34788,04	-0,0544	0,0544
03/12/2017	-1923,34	35638,65	-0,0540	0,0540
04/12/2017	-1909,73	37031,80	-0,0516	0,0516
05/12/2017	-1930,57	37795,11	-0,0511	0,0511
06/12/2017	-2210,39	41661,97	-0,0531	0,0531
07/12/2017	-2764,69	47828,39	-0,0578	0,0578
08/12/2017	-2672,95	47035,69	-0,0568	0,0568
09/12/2017	-2508,71	44286,04	-0,0567	0,0567
10/12/2017	-2469,08	43757,90	-0,0564	0,0564
11/12/2017	-2813,28	48504,11	-0,0580	0,0580
12/12/2017	-3081,83	53182,36	-0,0580	0,0580
13/12/2017	-2797,74	52282,50	-0,0535	0,0535
14/12/2017	-2956,03	55558,99	-0,0532	0,0532

**Figura 3.11.** Differenze in valore assoluto tra CRIX e TMI (divise per il TMI), nell'orizzonte temporale 01/11/2017-14/12/2017.

Come si può infatti osservare nella **figura 3.11**, nel mese di novembre 2017 e nella prima metà di dicembre 2017 i valori di  $|df_t|$  sono decisamente lontani dalla media, sia di quella del primo periodo che quella del secondo. Dal momento che, salvo qualche eccezione isolata, non sono stati rilevati dei valori di  $|df_t|$  al tempo stesso molto lontani dalla media e così vicini dal punto di vista temporale (44 giorni consecutivi nei quali il valore è superiore a 0,0492, ossia il 4,92%) in tutta la serie storica considerata, si potrebbe ritenere che le differenze tra i due indici siano più marcate nel caso in cui vi sia una bolla speculativa, con aumenti considerevoli in poco tempo del valore del mercato e successivo crollo verticale. Differenze che, nonostante tutto, possono essere ritenute tollerabili. Per questo, il CRIX, anche per i valori assunti rispetto all'intero settore delle valute crypto, si comporta bene e potrebbe rappresentare un indice utilizzabile come *benchmark* da un *exchange-traded fund* in questo settore.

A questo punto, potrebbe essere interessante verificare se, durante la bolla speculativa di fine 2017,

l'indice CRIX abbia seguito la stessa direzione dell'indice TMI. Per questo, si è calcolata la *Mean Directional Accuracy* tra i due indici nel periodo compreso tra il 1° novembre 2017 ed il 5 febbraio 2018, ottenendo un risultato pari a 1: in quel periodo l'indice CRIX ha perfettamente seguito la direzione dell'intero settore delle valute cripto. Questo risultato avvalorerebbe la tesi secondo cui il *CRIPtocurrency Index* possa essere ritenuto un buon indice rappresentativo del mercato delle monete cripto, con il vantaggio di contenere al suo interno un numero ridotto di beni rapportato alla quantità di diverse valute esistenti rispetto al TMI.

### 3.2.2 Diversificazione in un portafoglio di criptovalute e confronto tra le prestazioni del CRIX e le prestazioni delle principali monete cripto

Dopo aver costruito ed analizzato l'andamento storico dell'indice CRIX, è lecito interrogarsi sulla sussistenza o meno dell'effetto di diversificazione al suo interno (riguardo il concetto di diversificazione di Markowitz, si rimanda alla sezione 2.1 di questa trattazione).

Per questo motivo, sono stati prima di tutto calcolati i rendimenti logaritmici su base giornaliera di nove valute cripto storicamente influenti nel settore in analisi. La scelta degli *asset* è stata dettata dalla loro ampia disponibilità di dati storici. Successivamente, si è stimata l'eventuale presenza di correlazione tra tali monete cripto, mediante il test di correlazione di Pearson (per ulteriori dettagli riguardo tale coefficiente, si rimanda alla sezione 2.1). La figura **3.12** mostra la matrice delle correlazioni tra le criptomonete considerate. Il periodo temporale considerato va dall'8 agosto 2015 al 29 novembre 2018. La scelta è stata fatta in modo da poter includere in questa analisi Ethereum, il cui lancio nel mercato delle valute cripto è avvenuto proprio l'8 agosto 2015.

	Bitcoin	Ethereum	Ripple	Dash	Litecoin	Monero	NEM	Stellar	BitShares
Bitcoin	1,000								
Ethereum	0,362	1,000							
Ripple	0,291	0,210	1,000						
Dash	0,453	0,345	0,233	1,000					
Litecoin	0,603	0,348	0,350	0,428	1,000				
Monero	0,485	0,342	0,280	0,462	0,419	1,000			
NEM	0,381	0,251	0,289	0,327	0,380	0,297	1,000		
Stellar	0,354	0,236	0,544	0,280	0,376	0,373	0,385	1,000	
BitShares	0,415	0,371	0,445	0,370	0,418	0,368	0,359	0,517	1,000

**Figura 3.12.** Matrice di correlazioni tra le principali criptovalute. Orizzonte temporale: 08/08/2015-29/11/2018.

I risultati mostrati nella **figura 3.12** sono in linea con quanto riscontrato da Elendner, Trimborn, Ong e Lee, i quali osservano come le monete cripto da loro prese in considerazione non siano

fortemente correlate positivamente<sup>229</sup>. Infatti, la maggior parte delle valute cripto qui analizzate sono moderatamente correlate positivamente tra di loro. La correlazione lineare più forte è quella esistente tra Bitcoin e Litecoin, il cui coefficiente di Pearson è pari 0,603. Invece, la correlazione lineare più debole è quella tra Ripple e Dash, il cui valore è 0,233.

Dal momento che non sussiste per nessuna coppia di valute cripto qui considerata una correlazione positiva che possa essere definita forte, si potrebbe concludere, assumendo che il campione analizzato sia rappresentativo quantomeno delle monete cripto esistenti con una alta capitalizzazione di mercato, che un indice di valute cripto come il CRIX sia adeguatamente diversificato, secondo quanto teorizzato da Markowitz. Di conseguenza potrebbe essere possibile mediante un ETF nel settore oggetto di questo studio avere una migliore opportunità rischio-rendimento rispetto a quelle offerte dalle singole monete cripto. Ovviamente, tale effetto non sarà così forte, in quanto l'indice include al suo interno beni finanziari appartenenti ad uno stesso settore<sup>230</sup>.

Per una maggiore completezza, è stata anche effettuata una analisi in componenti principali (*Principal Component Analysis*, PCA) sui rendimenti giornalieri logaritmici delle criptomonete prese in considerazione, i cui risultati sono esposti nella figura 3.13. Per approfondire la metodologia si rimanda al paragrafo 2.4 di questo elaborato.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
<b>Bitcoin</b>	-0,173	0,115	0,021	0,132	0,020	0,074	-0,176	-0,218	0,925
<b>Ethereum</b>	-0,299	0,567	0,369	-0,540	-0,354	-0,181	0,051	0,022	-0,021
<b>Ripple</b>	-0,342	-0,484	0,149	-0,109	-0,452	0,614	0,155	0,093	0,020
<b>Litecoin</b>	-0,258	0,124	0,028	0,160	-0,007	0,218	-0,544	-0,647	-0,360
<b>NEM</b>	-0,417	0,173	-0,867	-0,145	-0,039	0,020	0,142	0,028	-0,027
<b>Stellar</b>	-0,439	-0,500	0,057	0,057	-0,133	-0,692	-0,226	0,055	-0,001
<b>Dash</b>	-0,238	0,256	0,062	0,306	0,092	0,189	-0,471	0,715	-0,060
<b>BitShares</b>	-0,422	-0,105	0,225	-0,268	0,797	0,123	0,191	-0,020	-0,028
<b>Monero</b>	-0,309	0,244	0,176	0,681	-0,080	-0,085	0,563	-0,102	-0,097
<b>Deviazione standard</b>	0,145	0,077	0,074	0,062	0,057	0,054	0,047	0,044	0,028
<b>Proporzione della varianza spiegata</b>	0,443	0,125	0,117	0,081	0,068	0,061	0,047	0,041	0,016
<b>Proporzione cumulata</b>	0,443	0,568	0,686	0,766	0,834	0,896	0,943	0,984	1,000

**Figura 3.13.** Analisi in componenti principali (PCA) di Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, NEM, Stellar, Dash, BitShares e Monero. Orizzonte temporale: 08/08/2015-29/11/2018.

Come si può notare, il componente più influente (PC1) spiega il 44,3% della variazione dei

<sup>229</sup> Elendner, H., Trimborn, S., Ong, B., & Lee, T. M. (2016). *The cross-section of crypto-currencies as financial assets: An overview* (No. 2016-038). SFB 649 Discussion paper.

<sup>230</sup> Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.



rendimenti delle criptovalute: un valore rilevante, poiché un singolo fattore riesce a spiegare quasi la metà delle variazioni. Tuttavia, ogni componente successivo fornisce un contenuto informativo aggiuntivo ridotto ed in misura decrescente. Infatti, sono necessari 6 fattori per rappresentare circa il 90% della variazione rispetto a queste nove monete crypto. Il numero elevato di componenti mostra come le monete crypto abbiano dei movimenti dei rendimenti tra loro distinti. Inoltre, la matrice di rotazione, ossia la parte superiore della **figura 3.13**, mostra che i rendimenti di ciascuna valuta sono adeguatamente spiegati da componenti diversi tra di loro. Per esempio, si considerino le due criptovalute più importanti in termini di valore di mercato nel set di dati, Ethereum e Bitcoin. Mentre le variazioni di Ethereum sono rappresentate meglio dai primi componenti, le variazioni del Bitcoin sono ben rappresentate dagli ultimi componenti.

Adesso si osservi la **figura 3.14**, la quale mostra i valori assunti dalle monete crypto prese in considerazione, insieme all'indice CRIX, relativi alle principali statistiche descrittive, al test di normalità di Jarque-Bera<sup>231</sup>, all'indice di Sharpe, all'indice di Sortino, calcolato per ciascun bene con due diversi tassi soglia (nel primo caso tasso costante pari a 0, nel secondo caso tasso soglia equivalente ai rendimenti giornalieri del *Treasury Bill* a 4 settimane, approssimazione qui scelta come tasso di interesse privo di rischio), al *Value at Risk* ed alla *Expected Shortfall*, entrambe calcolate con un livello di confidenza  $\alpha$  pari a 0,01 e 0,05.

La prima osservazione che si può fare è come né l'indice CRIX, né Bitcoin, abbiano registrato il rendimento medio più alto nella finestra temporale considerata. Anzi, tra gli *asset* considerati, solo Litecoin e BitShares hanno fatto peggio rispetto a loro. Questo risultato è in linea con quanto scoperto nell'analisi di mercato presentata nella sezione 1.5 di questo elaborato.

In secondo luogo, si può notare come i rendimenti delle valute crypto e dell'indice CRIX qui analizzati seguano una distribuzione molto lontana da quella gaussiana.

Infatti, essi presentano una curtosi superiore a 3, indice di una distribuzione leptocurtica. Una distribuzione quindi più appuntita intorno alla media rispetto ad una distribuzione normale ed allo stesso tempo con possibili valori più lontani dalla media rispetto ad una distribuzione gaussiana (fenomeno delle *fat tails*, ossia code grasse)<sup>232</sup>. Da ciò deriva un maggior rischio di avvenimento

---

<sup>231</sup> Il test di Jarque-Bera è un test statistico utilizzato per verificare se una determinata variabile si distribuisce in maniera normale. La statistica è distribuita asintoticamente come una variabile casuale chi quadro con due gradi di libertà e può essere usata per testare l'ipotesi nulla che il campione è stato estratto da una popolazione di dati distribuiti come una variabile casuale normale.

L'ipotesi nulla è un'ipotesi congiunta che sia asimmetria che curtosi in eccesso siano nulle. Tale ipotesi viene rigettata per valori della statistica troppo grandi (per esempio, con due gradi di libertà ed un livello di significatività dello 0,0005, l'ipotesi nulla è rigettata per valori del test superiori a 12,116). Fonte: Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics letters*, 6(3), 255-259.

<sup>232</sup> <https://www.investopedia.com/terms/l/leptokurtic.asp>

di eventi estremi, nel nostro caso di rendimenti eccezionalmente positivi e rendimenti eccezionalmente negativi.

Quanto appena detto è riscontrabile dai *Value at Risk* ed *Expected Shortfall* calcolati. Infatti, si può osservare come a dei valori della statistica test di Jarque-Bera crescenti seguono dei valori di VaR e ES sempre più negativi.

	CRIX	Bitcoin	Ethereum	Ripple	Litecoin	NEM	Stellar	Dash	BitShares	Monero
<b>Media</b>	0,0024	0,0023	0,0031	0,0032	0,0017	0,0052	0,0035	0,0028	0,0020	0,0036
<b>Errore standard</b>	0,0011	0,0011	0,0023	0,0022	0,0016	0,0026	0,0024	0,0017	0,0023	0,0020
<b>1° quartile</b>	-0,0101	-0,0100	-0,0268	-0,0215	-0,0172	-0,0358	-0,0320	-0,0255	-0,0330	-0,0284
<b>Mediana</b>	0,0029	0,0026	-0,0013	-0,0035	-0,0002	-0,0011	-0,0037	-0,0015	-0,0018	-0,0007
<b>3° quartile</b>	0,0187	0,0178	0,0312	0,0186	0,0171	0,0389	0,0304	0,0295	0,0307	0,0365
<b>Moda</b>	#N/D	0,0000	0,0000	-0,0106	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Deviazione standard</b>	0,0397	0,0400	0,0783	0,0763	0,0573	0,0900	0,0843	0,0597	0,0807	0,0711
<b>Varianza campionaria</b>	0,0016	0,0016	0,0061	0,0058	0,0033	0,0081	0,0071	0,0036	0,0065	0,0051
<b>Curtosi</b>	4,8670	4,9269	65,6525	38,5268	13,0784	16,8813	15,3667	6,1285	6,9982	7,4772
<b>Asimmetria</b>	-0,7630	-0,2831	-3,4612	2,9965	1,2912	1,9646	2,0370	0,8622	0,8510	1,0212
<b>Intervallo</b>	0,4083	0,4326	1,7144	1,6436	0,9055	1,3570	1,0895	0,6810	0,9117	0,8778
<b>Minimo</b>	-0,2332	-0,2075	-1,3021	-0,6163	-0,3952	-0,3615	-0,3664	-0,2432	-0,3917	-0,2932
<b>Massimo</b>	0,1751	0,2251	0,4123	1,0274	0,5103	0,9956	0,7231	0,4377	0,5200	0,5846
<b>Test di Jarque-Bera</b>	1299,11	1227,44	217895,50	76004,72	8881,33	15017,33	12634,10	2024,49	2591,00	3001,56
<b>Somma</b>	2,9342	2,7282	3,7479	3,8408	2,0830	6,3038	4,2177	3,3895	2,3995	4,4122
<b>Conteggio</b>	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210
<b>Sharpe Ratio</b>	0,0605	0,0559	0,0393	0,0413	0,0297	0,0577	0,0411	0,0466	0,0243	0,0510
<b>Sortino Ratio (t. soglia = 0)</b>	0,0836	0,0798	0,0539	0,0751	0,0481	0,0995	0,0714	0,0748	0,0383	0,0821
<b>Sortino Ratio (t. soglia = risk free)</b>	0,0828	0,0790	0,0535	0,0746	0,0475	0,0991	0,0710	0,0742	0,0379	0,0817
<b>VaR (<math>\alpha = 0,05</math>)</b>	0,0648	0,0666	0,0952	0,0829	0,0811	0,1209	0,1080	0,0818	0,1147	0,1108
<b>ES (<math>\alpha = 0,05</math>)</b>	0,1051	0,1011	0,1685	0,1407	0,1223	0,1712	0,1661	0,1258	0,1751	0,1475
<b>VaR (<math>\alpha = 0,01</math>)</b>	0,1218	0,1160	0,1786	0,1564	0,1414	0,2071	0,1969	0,1474	0,2080	0,1805
<b>ES (<math>\alpha = 0,01</math>)</b>	0,1596	0,1522	0,3202	0,2457	0,1891	0,2661	0,2576	0,1934	0,2720	0,2155

**Figura 3.14.** Tabella riepilogativa di CRIX, Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, NEM, Stellar, Dash, BitShares e Monero. Orizzonte temporale: 08/08/2015-29/11/2018.

In particolare, consideriamo il CRIX: storicamente, la perdita peggiore, registrabile in un giorno, che non sarà superata con una probabilità del 95% (se  $\alpha = 0,05$ ) è pari al 6,48%, ossia il VaR con  $\alpha = 0,05$ . Tale indice ha la miglior prestazione in termini di *Value at Risk* con  $\alpha = 0,05$ , paragonato agli altri *asset* considerati. Tuttavia, la situazione cambia quando si calcola il VaR con  $\alpha = 0,01$ . Il CRIX, al riguardo, registra una massima perdita giornaliera pari al 12,18%: Bitcoin riesce a fare meglio, registrando una massima perdita percentuale giornaliera dell'11,60% nel 99% dei casi. Discorso analogo può essere fatto per quanto riguarda la *Expected Shortfall*, sia con livello di confidenza dello 0,05 che dello 0,01. Infatti, per  $\alpha = 0,05$ , la perdita media registrata dall'indice CRIX nel caso in cui sia superiore al  $VaR_{\alpha=0,05}$ , ossia 6,48%, è del 10,51%. Invece, la ES ad un livello di confidenza dello 0,05 per Bitcoin è pari al 10,11%. Con  $\alpha = 0,01$ , la *Expected Shortfall* dell'indice CRIX è pari a 15,96%, mentre per Bitcoin è pari al 15,22%. Tuttavia, come si può notare le differenze tra tali misure sono ridotte. Di conseguenza, si può essere più che soddisfatti

della performance dell'indice CRIX, paragonato con le criptovalute considerate, in termini di VaR ed ES.

In termini di indice di Sharpe, il CRIX è lo strumento finanziario che ha avuto le prestazioni migliori nell'orizzonte temporale considerato, con un valore giornaliero pari al 6,05%. A seguire, vi è NEM, con uno *Sharpe Ratio* giornaliero del 5,77%. Questo valore elevato è dovuto dal suo rendimento medio, il quale è risultato essere quello più grande tra tutti i beni analizzati, pari allo 0,52% giornaliero, più del doppio del rendimento medio giornaliero ottenuto dall'indice CRIX e da Bitcoin (rispettivamente 0,24% e 0,23%). Tuttavia, NEM registra anche la deviazione standard più elevata, pari al 9%, impedendole così di essere il miglior strumento di investimento in termini di rendimento per unità di rischio.

Il risultato del CRIX costituisce la prova dell'esistenza dell'effetto di diversificazione del portafoglio teorizzato da Markowitz, ipotizzata durante l'analisi della matrice delle correlazioni: infatti tale indice riesce ad avere un rendimento medio più elevato del Bitcoin, ed allo stesso tempo essere meno rischioso in termini di deviazione standard rispetto alla moneta crypto creata da Nakamoto, con un valore del 3,97% contro il 4,00% giornaliero.

Invece, in termini di indice di Sortino, NEM è l'asset finanziario che ha avuto le prestazioni migliori nell'orizzonte temporale considerato, con entrambi i tassi di soglia scelti. Nel caso in cui il tasso soglia è pari a zero (quindi il rendimento medio è rapportato alla volatilità dei rendimenti inferiori a zero), il *Sortino Ratio* relativo a NEM è pari al 9,95%. Comunque sia, l'indice CRIX non si comporta male, risultando dopo NEM lo strumento finanziario maggiormente performante in termini di *Sortino Ratio* con tasso soglia pari a zero, con un valore dell'8,36%. Stesso discorso può essere fatto nel caso in cui il tasso soglia è pari al tasso d'interesse privo di rischio (in questa trattazione equivalente ai rendimenti giornalieri del *Treasury Bill* a 4 settimane). Cambiano solo i valori: 9,91% per NEM, 8,28% per l'indice CRIX.

Nel complesso, si può quindi dire che l'indice CRIX abbia offerto una buona prestazione nella finestra temporale considerata, risultando il miglior strumento finanziario in termini di *Sharpe Ratio*, ed il secondo miglior strumento in termini di *Sortino Ratio*.

### *3.2.3 Correlazione tra CRIX ed i principali asset di investimento e confronto delle loro prestazioni*

Dopo aver mostrato l'assenza di una forte correlazione lineare tra le principali criptomonete e le ottime prestazioni storiche dell'indice CRIX rispetto ad esse, in termini sia di opportunità rischio-rendimento, rilevata dagli indici di Sharpe e dagli indici di Sortino, sia in termini di rischio di mercato, mediante l'ausilio del *Value at Risk* e della *Expected Shortfall*, sarebbe interessante

scoprire se tale indice, in veste di *benchmark* di un *exchange-traded fund*, possa costituire uno strumento finanziario in grado di diversificare in maniera adeguata dei portafogli titoli contenenti *asset* come titoli azionari, obbligazionari, *commodity* e proprietà immobiliari e di offrire delle prestazioni tali da risultare interessante per un ipotetico investitore.

Per questo motivo, si è prima di tutto verificata l'eventuale presenza di correlazione tra l'indice CRIX ed i principali *asset* finanziari ed indici di mercato, mediante il test di correlazione di Pearson (per ulteriori dettagli riguardo il coefficiente, si rimanda alla sezione 2.1). La **figura 3.15** mostra la matrice delle correlazioni tra i beni considerati. Il periodo temporale considerato va dal 1° dicembre 2014 al 29 novembre 2018. A differenza delle monete cripto, le quali possono essere scambiate 7 giorni su 7, i principali mercati globali sono chiusi nel weekend. Per questo, le correlazioni sono state calcolate in due diverse maniere. Nel primo caso (metodo 1 nella **figura 3.15**), si sono eliminati i valori della serie storica dei rendimenti logaritmici giornalieri del CRIX registrati nelle giornate di sabato e domenica, e si sono calcolati il rendimento nella giornata di lunedì come la differenza tra il logaritmo del prezzo registrato nello scorso venerdì ed il logaritmo del prezzo registrato nel lunedì considerato. Nel secondo caso (metodo 2 nella **figura 3.15**), si sono semplicemente calcolati i rendimenti del CRIX per tutti i giorni disponibili, e successivamente si sono eliminati i rendimenti dell'indice CRIX relativi al weekend.

	CRIX (metodo 1)	CRIX (metodo 2)
<b>Standard &amp; Poor's 500 Index</b>	0,070	0,067
<b>Russell 2000 Index</b>	0,062	0,058
<b>Shanghai Stock Exchange Composite Index</b>	-0,003	0,012
<b>Nikkei 225 Index</b>	-0,024	-0,040
<b>EURO STOXX 50 Index</b>	0,029	0,017
<b>FTSE MIB Index</b>	0,025	0,023
<b>Deutsche Boerse AG German Stock Index</b>	0,036	0,022
<b>FTSE 100 Index</b>	0,030	0,022
<b>Goldman Sachs Commodity Index</b>	0,025	0,022
<b>Nymex WTI Crude Oil Future</b>	0,009	0,003
<b>ICE Brent Crude Oil Future</b>	0,021	0,016
<b>Tasso di cambio spot oro-dollaro USA</b>	0,004	0,031
<b>T-Bill scadenza 4 settimane</b>	-0,044	-0,035
<b>MSCI US REIT Index</b>	0,016	0,017

**Figura 3.15.** Correlazioni tra i rendimenti logaritmici giornalieri dell'indice CRIX e dei principali asset ed indici finanziari. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018. Nel metodo 1 si sono eliminati i valori del CRIX registrati di sabato e domenica, e si sono calcolati il rendimento nella di lunedì come la differenza tra il logaritmo del prezzo registrato nello scorso venerdì ed il logaritmo del prezzo registrato nel lunedì considerato. Nel metodo 2 si sono calcolati i rendimenti del CRIX per tutti i giorni disponibili, e successivamente si sono eliminati i rendimenti del CRIX relativi al weekend.

Come si può osservare dalla **figura 3.15**, la differenza tra le metodologie applicate non influenza il risultato. Infatti, risulta con entrambi i metodi qui applicati come l'indice CRIX non sia correlato

linearmente né con i principali mercati azionari globali, né con il mercato delle *commodity* nel suo complesso, né con il *Treasury Bill* con scadenza 4 settimane e nemmeno con il settore immobiliare, rappresentato dal *MSCI US REIT Index*. Infatti, i valori del coefficiente di Pearson sono tutti prossimi a zero. Per rendersi conto dell'entità, la relazione lineare più forte è quella esistente tra l'indice CRIX e l'indice Standard & Poor's 500, pari a 0,07 con il primo metodo e 0,067 con il secondo metodo. Si può notare anche come il CRIX sia correlato negativamente con l'indice Nikkei 225 ed *Treasury Bill* a 4 settimane, anche se i valori assoluti di tali correlazioni sono tali da non essere particolarmente significativo il segno della relazione.

Si potrebbe quindi affermare che un *exchange-traded fund* che abbia come *benchmark* l'indice del settore del criptovalute qui analizzato possa costituire una ottima opportunità di diversificazione per quei portafogli con al loro interno degli strumenti finanziari che tentano di replicare gli indici finanziari presi in considerazione (come le varie tipologie di fondi di investimento esistenti, tra cui gli stessi ETF) o semplicemente *commodity* come il petrolio e l'oro.

Di conseguenza potrebbe essere possibile mediante tale ETF avere una migliore opportunità rischio-rendimento rispetto a quelle offerte dai soli *asset* tradizionali. Questo risultato risulta inoltre coerente con quanto riscontrato da Elendner, Trimborn, Ong e Lee, i quali osservano come le principali valute cripto da loro prese in considerazione (come Bitcoin, Ethereum, Ripple e Litecoin) non siano correlate con i principali asset tradizionali di investimento, quindi siano in grado di poter diversificare in maniera adeguata un portafoglio basato su tali asset<sup>233</sup>.

Adesso si consideri la **figura 3.16** la quale mostra i valori assunti dall'indice CRIX e dai principali indici di mercato e beni di investimento presi in considerazione relativi alle principali statistiche descrittive, al test di normalità di Jarque-Bera, al *Value at Risk* ed alla *Expected Shortfall*, entrambe calcolate con un livello di confidenza pari a 0,01 e 0,05.

Il primo aspetto che può risaltare all'occhio è il rendimento medio delle variabili considerate. L'indice CRIX primeggia, con un rendimento medio giornaliero dello 0,18%. Tra gli *asset* tradizionali, le migliori prestazioni in termini di rendimento sono fornite dall'indice Russell 2000 e dall'indice Standard & Poor's 500, rispettivamente con il 0,04% ed il 0,03% giornaliero, valori molto lontani in termini relativi rispetto a quello registrato dall'indice del settore delle criptomonete. Infatti, il CRIX ha avuto, in media, prestazioni oltre quattro volte superiori a quelle dell'indice Russell 2000 e sei volte superiori a quelle dell'indice S&P 500.

Allo stesso tempo, l'indice CRIX risulta lo strumento più volatile e rischioso, con una deviazione

---

<sup>233</sup> Elendner, H., Trimborn, S., Ong, B., & Lee, T. M. (2016). *The cross-section of crypto-currencies as financial assets: An overview* (No. 2016-038). SFB 649 Discussion paper.

standard del 3,88% contro l'1,01% dell'indice Russell 2000 e lo 0,83% dell'indice S&P 500.

	CRIX	SPX	RTY	SHCOMP	NKY	SX5E	FTSEMIB	DAX	UKX	SPGSCI	CL1	CO1	XAU Curncy	T-Bill 4 set	RMZ
Media	0,0018	0,0003	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	0,00002	0,0001
Err. Stand.	0,0010	0,0003	0,0003	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0008	0,0007	0,0002	0,00000	0,0003
1° quartile	-0,0107	-0,0030	-0,0051	-0,0050	-0,0049	-0,0055	-0,0072	-0,0054	-0,0045	-0,0073	-0,0138	-0,0124	-0,0048	0,00000	-0,0047
Mediana	0,0024	0,0003	0,0008	0,0010	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	0,0005	0,0004	0,0012	0,0005	0,0000	0,00000	0,0005
3° quartile	0,0176	0,0043	0,0064	0,0062	0,0065	0,0056	0,0075	0,0061	0,0047	0,0071	0,0130	0,0114	0,0044	0,00004	0,0060
Moda	#N/D	-0,0004	0,0081	0,0031	0,0006	0,0050	0,0008	0,0019	-0,0015	0,0010	0,0013	0,0056	0,0000	0,00000	-0,0017
Dev. Stand.	0,0388	0,0083	0,0101	0,0158	0,0128	0,0114	0,0144	0,0115	0,0089	0,0129	0,0245	0,0229	0,0080	0,00003	0,0094
Var. camp.	0,0015	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0005	0,0001	0,00000	0,0001
Curtosi	5,5074	3,2796	1,1240	6,0146	5,8256	4,7954	6,4950	2,2884	2,4022	1,3108	2,4698	2,1053	2,8795	-0,18323	1,3859
Asimmetria	-0,8221	-0,5086	-0,3343	-1,1066	-0,1881	-0,4591	-0,6093	-0,2767	-0,1129	0,1016	0,3712	0,2879	0,3488	1,11432	-0,4720
Intervallo	0,4083	0,0800	0,0710	0,1426	0,1563	0,1333	0,1834	0,1179	0,0825	0,1031	0,2099	0,1946	0,0801	0,00008	0,0753
Minimo	-0,2332	-0,0410	-0,0390	-0,0849	-0,0792	-0,0862	-0,1248	-0,0682	-0,0467	-0,0491	-0,0867	-0,0848	-0,0332	0,00000	-0,0474
Massimo	0,1751	0,0390	0,0320	0,0576	0,0771	0,0471	0,0586	0,0497	0,0358	0,0540	0,1232	0,1098	0,0469	0,00008	0,0279
Test Jarque-Bera	1993,9	506,7	73,3	1768,1	1465,4	1025,0	1878,7	237,8	249,6	75,2	285,5	204,3	376,9	217,0	120,7
Somma	2,6334	0,3139	0,3920	0,2114	0,1177	-0,0088	0,0764	0,2085	0,0964	-0,0064	0,2342	0,0900	0,0931	0,0203	0,1055
Conteggio	1460	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1044
VaR ( $\alpha = 0,05$ )	0,0614	0,0142	0,0168	0,0249	0,0210	0,0186	0,0238	0,0190	0,0143	0,0211	0,0400	0,0369	0,0127	0,0000	0,0169
ES ( $\alpha = 0,05$ )	0,1189	0,0208	0,0234	0,0444	0,0322	0,0270	0,0332	0,0269	0,0211	0,0277	0,0527	0,0494	0,0171	0,0000	0,0227
VaR ( $\alpha = 0,01$ )	0,1044	0,0248	0,0283	0,0641	0,0379	0,0316	0,0356	0,0301	0,0248	0,0313	0,0578	0,0601	0,0197	0,0000	0,0267
ES ( $\alpha = 0,01$ )	0,1640	0,0323	0,0331	0,0722	0,0483	0,0417	0,0536	0,0387	0,0299	0,0388	0,0688	0,0679	0,0247	0,0000	0,0320

**Figura 3.16.** Tabella riepilogativa del CRIX e dei principali asset finanziari di investimento. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018. SPX = Standard & Poor's 500 Index; RTY = Russel 2000 Index; SHCOMP = Shanghai Stock Exchange Composite Index; NKY = Nikkei 225 Index; SX5E = EURO STOXX 50 Index; FTSEMIB = FTSE MIB Index; DAX = Deutsche Boerse AG German Stock Index; UKX = FTSE 100; SPGSCI = S&P GSCI Index; CL1 = Nymex WTI Crude Oil Future; CO1 = ICE Brent Crude Oil Future; XAU Curncy = Tasso di cambio spot oro-dollaro USA; T-Bill 4 set = Treasury Bill con scadenza 4 settimane; RMZ = MSCI US REIT Index.

Anche qui, il test di normalità di Jarque-Bera rifiuta l'ipotesi nulla di distribuzione normale per ciascun indice e strumento finanziario analizzato. In particolare, risulta che proprio l'indice CRIX abbia, fra tutti, la distribuzione dei rendimenti giornalieri storici più lontana ad una gaussiana, seguito dal FTSE MIB e dallo Shanghai Stock Exchange Composite Index.

Anche in termini di *Value at Risk* ed *Expected Shortfall*, l'indice CRIX risulta il più rischioso. Storicamente, la perdita peggiore, registrabile in un giorno, che non sarà superata con una probabilità del 95% (se  $\alpha = 0,05$ ) è stata pari al 6,14%, ossia il VaR con  $\alpha = 0,05$ . Con questo livello di confidenza, i tre indici e strumenti finanziari più sicuri sono stati il *Treasury Bill* a 4 settimane, con un  $VaR_{\alpha=0,05} = 0$  poiché nel periodo temporale considerato esso non ha mai avuto rendimenti negativi (come si può vedere dal suo valore minimo, pari a 0); il tasso di cambio spot tra oro e dollaro USA, con un  $VaR_{\alpha=0,05}$  uguale all'1,27%; infine, lo S&P 500, con un  $VaR_{\alpha=0,05}$  dell'1,42%, oltre quattro volte meno dell'indice delle criptomonete.

Quanto detto vale anche per il *Value at Risk* calcolato ad un livello di confidenza dello 0,01: cambiano solo i valori. Nello specifico, il  $VaR_{\alpha=0,01}$  dell'indice CRIX è pari al 10,44%; il  $VaR_{\alpha=0,01}$  del tasso di cambio spot tra oro e dollaro USA è uguale all'1,97%. Invece lo S&P 500 registra un  $VaR_{\alpha=0,01} = 2,48\%$ , cinque volte meno rispetto al CRIX.

La sostanza non cambia se si confrontano tra di loro le rispettive *Expected Shortfall*. Infatti, per  $\alpha$

= 0,05, la perdita media registrata dall'indice CRIX nel caso in cui sia superiore al  $VaR_{\alpha=0,05}$  è del 11,89%. Agli antipodi, oltre al *Treasury Bill* a 4 settimane, abbiamo il tasso di cambio spot tra oro e dollaro USA, con un  $ES_{\alpha=0,05}$  uguale all'1,71%; infine, lo S&P 500, con un  $ES_{\alpha=0,05}$  dell'2,08%, quasi sei volte meno dell'indice delle criptovalute.

Stesso discorso per la ES ad un livello di confidenza dello 0,01. Nello specifico, la  $ES_{\alpha=0,01}$  dell'indice CRIX è pari al 16,40%; la  $ES_{\alpha=0,01}$  del tasso di cambio spot tra oro e dollaro USA è uguale all'2,47%. Invece lo S&P 500 registra una  $ES_{\alpha=0,01}$  pari al 3,23%, cinque volte meno rispetto al CRIX.

In sintesi, il *CRyptocurrency IndeX* mostra una volatilità superiore rispetto agli altri *asset* considerati, in termini di deviazione standard. Ciò è linea con un mercato finanziario giovane come quelle delle valute crypto, sviluppatosi negli ultimi dieci anni. Tale volatilità è seguita da un rendimento medio decisamente elevato rispetto agli strumenti tradizionali di investimento. Tuttavia, quello che emerge soprattutto da questa analisi, confrontando le misure del VaR e della ES, è l'elevato *tail risk* (rischio di coda) presente nella coda sinistra della distribuzione storica dei rendimenti giornalieri dell'indice delle monete crypto, ossia il rischio che tale indice possa avere dei rendimenti inferiori tre volte la sua deviazione standard rispetto al rendimento medio. In altre parole, il rischio di avvenimento di eventi estremi, nel nostro caso di rendimenti eccezionalmente negativi. Inoltre, questo rischio è suggerito dalla elevata curtosi unita ad una rilevante asimmetria negativa<sup>234</sup>.

Tale risultato trova riscontro in letteratura, in quanto Joerg Osterrieder e Julian Lorenz hanno dimostrato come la distribuzione dei rendimenti del Bitcoin sia caratterizzata da code “grasse” (*fat tails*)<sup>235</sup>.

Adesso si osservi la **figura 3.17**, la quale mostra i valori assunti dal *CRyptocurrency IndeX* e dai principali beni finanziari di investimento relativi all'indice di Sharpe ed all'indice di Sortino, calcolato per ciascun bene con due diversi tassi soglia (nel primo caso tasso costante pari a 0, nel secondo caso tasso soglia equivalente ai rendimenti giornalieri del *Treasury Bill* a 4 settimane, approssimazione qui scelta come tasso di interesse privo di rischio).

In termini di *Sharpe ratio*, il CRIX ha avuto le prestazioni migliori nell'orizzonte temporale considerato, con un valore giornaliero pari al 4,37%. A seguire, vi sono l'indice Russell 2000, con il 3,54%, e l'indice S&P 500, con il 3,40% giornaliero.

È da notare come l'indice EURO STOXX 50 e l'indice *S&P Goldman Sachs Commodity* hanno

---

<sup>234</sup> <https://www.investopedia.com/terms/t/tailrisk.asp>

<sup>235</sup> Osterrieder, J., & Lorenz, J. (2017). A statistical risk assessment of Bitcoin and its extreme tail behavior. *Annals of Financial Economics*, 12(01), 1750003.

un indice di Sharpe periodale negativo, pari rispettivamente al -0,25% giornaliero ed al -0,20%, dovuto al loro rendimento medio, risultato inferiore al rendimento medio del *Treasury Bill* a 4 settimane.

	Sharpe Ratio	Sortino Ratio (tasso soglia = 0)	Sortino Ratio (tasso soglia = risk free)
CRIX	0,0437	0,0596	0,0590
Standard & Poor's 500 Index	0,0340	0,0503	0,0092
Russel 2000 Index	0,0354	0,0521	0,0118
Shanghai Stock Exchange Composite Index	0,0116	0,0167	0,0062
Nikkei 225 Index	0,0073	0,0121	0,0031
EURO STOXX 50 Index	-0,0025	-0,0010	-0,0009
FTSE MIB Index	0,0037	0,0070	0,0018
Deutsche Boerse AG German Stock Index	0,0156	0,0242	0,0060
FTSE 100 Index	0,0082	0,0145	0,0024
S&P GSCI Index	-0,0020	-0,0007	-0,0009
Nymex WTI Crude Oil Future	0,0084	0,0134	0,0075
ICE Brent Crude Oil Future	0,0029	0,0055	0,0023
Tasso di cambio spot oro-dollaro USA	0,0087	0,0163	0,0025
MSCI US REIT Index	0,0087	0,0146	0,0030

**Figura 3.17.** Indice di Sharpe e indice di Sortino (quest'ultimo calcolato con due diversi tassi soglia), del CRIX e dei principali asset finanziari di investimento. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

Quindi, si può concludere che l'indice CRIX vede il suo rischio, espresso in termini di deviazione standard, maggiormente remunerato in termini di rendimento medio.

Inoltre, l'indice CRIX vede il suo rischio, espresso come volatilità nei rendimenti inferiori al tasso soglia prefissato, maggiormente ricompensato in termini di rendimento medio in eccesso da tale tasso soglia, sia se quest'ultimo è pari a zero, sia se è pari al rendimento medio del *Treasury Bill* a 4 settimane. Infatti, il CRIX assume un valore nell'indice di Sortino periodale con il tasso soglia uguale a zero pari al 5,96%, e con il tasso soglia equivalente al rendimento medio del *Treasury Bill* a 4 settimane pari al 5,90%, denotando quindi una differenza minima tra la performance dell'indice aggiustata per la volatilità dei rendimenti inferiori a 0 e per quella dei rendimenti inferiori al tasso qui ritenuto privo di rischio. Gli altri beni, oltre ad avere prestazioni peggiori, riscontrano delle differenze rilevanti tra i valori assunti dai due indici di Sortino calcolati, con una tendenza ad un indice con un tasso soglia nullo maggiore rispetto a tale indice con un tasso soglia equivalente al tasso privo di rischio. Ciò potrebbe essere conseguente ad una maggiore vicinanza dei rendimenti medi assunti dai beni tradizionali rispetto al rendimento medio del tasso *risk free* e/o da una maggiore volatilità presente nei rendimenti inferiori al tasso *risk free* rispetto alla volatilità presente nei soli rendimenti negativi. In particolare, l'indice Russell 2000 ha registrato un *Sortino ratio* del 5,21% con un tasso soglia nulla e solo l'1,18% con un tasso soglia equivalente al tasso privo di rischio. Invece lo S&P 500 ha registrato rispettivamente un indice di Sortino del 5,03% e dello 0,92%.



Nel complesso, si può quindi dire che l'indice CRIX abbia offerto una ottima prestazione nel periodo temporale considerato, risultando il miglior indice e strumento finanziario in termini sia di *Sharpe Ratio* che di *Sortino Ratio*.

In aggiunta all'analisi sinora effettuata, sono stati costruiti quattro portafogli secondo l'approccio di selezione di Markowitz, suddivisibile in due fasi separate: 1) allocazione delle attività rischiose al fine di creare un portafoglio ottimo rischioso 2) allocazione del capitale tra il portafoglio ottimo rischioso ed il bene considerato privo di rischio<sup>236</sup>. Ognuno di questi portafogli segue una differente strategia di investimento: massimizzazione dello *Sharpe ratio* sotto il vincolo di non negatività dei pesi di ciascun bene selezionato (quindi nessuna vendita allo scoperto) e senza l'inclusione dell'indice CRIX; massimizzazione dell'indice di Sharpe sotto il vincolo di non negatività dei pesi di ciascun bene selezionato (quindi nessuna vendita allo scoperto) ma con l'inclusione del CRIX; massimizzazione dello *Sharpe ratio* senza l'inclusione dell'indice CRIX (quindi sono possibili posizioni di vendita allo scoperto); massimizzazione dell'indice di Sharpe con l'inclusione del CRIX (quindi sono possibili posizioni di vendita allo scoperto).

Invece, il secondo step (i cui risultati sono riportati nelle **figure 3.19** e **3.20**) è stato compiuto mediante la massimizzazione della funzione di utilità dell'investitore, corretta per l'indice di avversione al rischio  $A$ , sotto il vincolo che il portafoglio ottimo completo può essere composto dal bene privo di rischio e dal portafoglio ottimo rischioso ricavato nel primo step (**figura 3.18**).

	Rendimento atteso	Deviazione standard	Sharpe Ratio
<b>Portafoglio ottimo rischioso no short e senza CRIX</b>	0,00026	0,00624	0,03918
<b>Portafoglio ottimo rischioso no short e con il CRIX</b>	0,00049	0,00828	0,05676
<b>Portafoglio ottimo rischioso senza CRIX</b>	0,00526	0,05887	0,08902
<b>Portafoglio ottimo rischioso con il CRIX</b>	0,00365	0,03700	0,09808

**Figura 3.18.** Rendimento atteso, deviazione standard e indice di Sharpe di quattro diversi portafogli rischiosi ottimi, secondo il modello di selezione di Markowitz. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

<b>A=2 (indice di avversione al rischio dell'investitore)</b>				
	Rendimento atteso	Deviazione standard	Quota asset privo di rischio	Quota portafoglio ottimo rischioso
<b>Portafoglio ottimo completo no short e senza CRIX</b>	0,00079	0,01959	-214,13 %	314,13 %
<b>Portafoglio ottimo completo no short e con CRIX</b>	0,00163	0,02838	-242,81 %	342,81 %
<b>Portafoglio ottimo completo sì short e senza CRIX</b>	0,00398	0,04451	24,40 %	75,60 %
<b>Portafoglio ottimo completo sì short e con CRIX</b>	0,00483	0,04904	-32,54 %	132,54%

**Figura 3.19.** Rendimento atteso, deviazione standard e pesi del bene privo di rischio e del portafoglio ottimo rischioso di quattro diversi portafogli ottimi completi, secondo il modello di selezione di Markowitz e con  $A = 2$ . Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

<sup>236</sup> Bodie, Z., Kane, A. & Marcus, A. J. (2013). *Investments*. McGraw-Hill Education.

A=4 (indice di avversione al rischio dell'investitore)				
	Rendimento atteso	Deviazione standard	Quota asset privo di rischio	Quota portafoglio ottimo rischioso
Portafoglio ottimo completo no short e senza CRIX	0,00040	0,00979	-57,07 %	157,07 %
Portafoglio ottimo completo no short e con CRIX	0,00082	0,01419	-71,41 %	171,41 %
Portafoglio ottimo completo sì short e senza CRIX	0,00200	0,02225	62,20 %	37,80 %
Portafoglio ottimo completo sì short e con CRIX	0,00242	0,02452	33,73 %	66,27%

**Figura 3.20.** Rendimento atteso, deviazione standard e pesi del bene privo di rischio e del portafoglio ottimo rischioso di quattro diversi portafogli ottimi completi, secondo il modello di selezione di Markowitz e con  $A = 4$ . Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

Prima di tutto, si può notare dalla **figura 3.18**, la quale presenta i quattro portafogli ottimi rischiosi, come l'inserimento dell'indice CRIX all'interno del portafoglio implichi un indice di Sharpe più elevato, sia nel caso in cui venga consentita la vendita allo scoperto degli *asset* rischiosi, sia nel caso opposto, portando alla conclusione che l'indice CRIX riesca ad apportare una diversificazione rilevante in un portafoglio comprendente dei fondi sugli indici considerati e gli altri strumenti qui utilizzati, aumentando così il rendimento atteso per unità di rischio, rappresentato dalla deviazione standard. Inoltre, una strategia di investimento che prevede sia la possibilità di vendita allo scoperto degli strumenti rischiosi sia l'inclusione del CRIX offre il migliore *Sharpe ratio* tra tutti i portafogli ottimi rischiosi costruiti, dal momento che viene eliminato un vincolo nel problema di massimizzazione dell'indice di Sharpe. In particolare, il portafoglio ottimo rischioso in una strategia di investimento che non prevede la vendita allo scoperto ma prevede l'inserimento del CRIX ha uno *Sharpe ratio* del 5,676%, risultando già più efficiente di tutti i singoli indici e beni considerati (si veda la **figura 3.17**). Invece, la stessa strategia in assenza dell'indice delle criptovalute genera un indice di Sharpe del 3,918%. Ancora meglio fa il portafoglio ottimo rischioso in una strategia di investimento che prevede la possibile vendita allo scoperto e l'inserimento del CRIX, ottenendo uno *Sharpe ratio* del 9,808%. La stessa strategia in assenza dell'indice delle criptovalute genera un indice di Sharpe del 8,902% giornaliero.

Dalle **figure 3.19** e **3.20**, dove sono presentati i quattro portafogli ottimi completi per due ipotetici investitori (uno con un coefficiente di avversione al rischio  $A$  pari a 2, un altro meno disposto al rischio con  $A = 4$ ), si può notare subito che solo nel caso in cui sia ammessa la vendita allo scoperto ma non viene selezionato il CRIX al suo interno (terza riga delle **figure 3.19** e **3.20**), per entrambe le tipologie di individui l'allocazione del capitale ottimale non prevede di prendere a prestito somme di denaro al tasso di interesse privo di rischio, poiché il peso dell'*asset risk-free* è positivo. Al contrario, una allocazione ottimale del capitale suggerisce di acquistare il bene privo di rischio (qui supposto il *Treasury Bill* a 4 settimane). Invece, in tutte le altre situazioni il portafoglio ottimale completo comporta il prendere a prestito capitali (il peso dell'*asset* privo di rischio è

negativo) in modo da poter ampliare ulteriormente la quota del portafoglio investita negli *asset* rischiosi, superiore al 100%.

L'efficienza dell'indice CRIX è deducibile, oltre da quanto già detto nelle precedenti analisi, anche dall'incremento della quota del portafoglio ottimo completo dedicata ai beni rischiosi per entrambe le strategie di investimento considerate se confrontate con le medesime strategie in assenza di tale indice all'interno del portafoglio.

### 3.2.4 Livello di liquidità delle criptovalute

Dopo aver mostrato sia l'assenza di correlazione lineare tra l'indice CRIX ed i principali indici di mercato e beni di investimento che l'ottima prestazione storica in termini di *Sharpe ratio* e *Sortino ratio*, insieme tuttavia ad un *tail risk* considerevole, si è voluto indagare sullo stato di liquidità del mercato delle valute crypto. Infatti, come già detto nella sezione 2.8, un gestore di un ETF dovrebbe monitorare costantemente la liquidità degli strumenti in portafoglio, in quanto essa costituisce una delle cause del *tracking error*.

Si osservi al riguardo la **figura 3.21**, la quale rappresenta i rendimenti logaritmici attesi calcolati sia mediante i prezzi di chiusura (si veda la sezione 3.1), sia con i prezzi denaro e lettera; i differenziali medi tra i prezzi *bid* ed i prezzi *ask* espressi in forma percentuale; le volatilità storiche, corrispondenti alle deviazioni standard dei rendimenti calcolati con i prezzi di chiusura; i volumi medi giornalieri espressi in dollari statunitensi e le capitalizzazioni di mercato medie, anch'esse espresse in dollari statunitensi, delle dieci criptovalute per cui erano disponibili dati al riguardo e dell'*iShares Russell 2000 ETF*. I rendimenti logaritmici con i prezzi *bid* e *ask* di uno strumento finanziario *i* al tempo *t* sono stati calcolati con la seguente formula:

$$\text{rendimento bid/ask}_t^i = \ln(\text{prezzo bid}_t^i) - \ln(\text{prezzo ask}_{t-1}^i)$$

Nella **figura 3.21**, i valori espressi in corsivo ed in grassetto sono quei numeri che risultano statisticamente significativi a fronte di un test di verifica di ipotesi bidirezionale mediante il test *t* di *Student*, con l'ipotesi nulla che il valore sia uguale a zero e come ipotesi alternativa che tale valore sia diverso da zero, con un livello di significatività  $\alpha = 0,05$ . In primo luogo, si noti che il *t-test* è stato applicato solamente per le due tipologie di rendimenti attesi e per lo *spread bid-ask* medio. Inoltre, il test *t* di *Student* assume che il campione di dati considerato (nel nostro caso i rendimenti giornalieri calcolati con i prezzi di chiusura) si distribuiscano in maniera gaussiana<sup>237</sup>. Come si è dimostrato nella sezione 3.2.3 (**figura 3.16**), tale assunzione non trova riscontro

---

<sup>237</sup>Il test *t* di Student è un test statistico parametrico utilizzato per verificare se il valore medio di un campione si discosta significativamente da un predeterminato valore, nel caso in cui non si conosca la varianza della popolazione da cui viene estratto il campione. Si veda: Ross, S. M. (2010). *Introductory Statistics*. Academic Press.

empirico. Tuttavia, ai fini della seguente analisi può essere rilasciata tale ipotesi.

	E(r) prezzi di chiusura	Err. St.	E(r) prezzi bid-ask	Err. St.	Spread bid-ask medio	Vol. storica	Cap. mercato media	Vol. medio giorn.
Bitcoin	-0,520%	0,00320	-0,560%	0,00321	<b>0,040%</b>	3,938%	\$116.902.636.567	\$4.875.083.093
Ethereum	<b>-1,179%</b>	0,00468	<b>-1,286%</b>	0,00467	<b>0,107%</b>	5,749%	\$37.227.515.712	\$1.920.922.115
Ethereum Classic	-0,978%	0,00502	<b>-1,112%</b>	0,00502	<b>0,134%</b>	6,163%	\$1.375.265.820	\$216.860.602
Litecoin	<b>-1,004%</b>	0,00419	<b>-1,146%</b>	0,00419	<b>0,143%</b>	5,145%	\$4.424.504.246	\$342.177.398
Ripple	-0,548%	0,00526	-0,699%	0,00526	<b>0,151%</b>	6,465%	\$19.070.797.271	\$478.720.600
EOS	<b>-1,228%</b>	0,00549	<b>-1,408%</b>	0,00549	<b>0,179%</b>	6,745%	\$6.899.462.652	\$871.312.641
Monero	-0,937%	0,00495	<b>-1,205%</b>	0,00498	<b>0,267%</b>	6,085%	\$2.033.861.072	\$33.478.805
Bitcoin Cash	<b>-1,394%</b>	0,00577	<b>-1,681%</b>	0,00581	<b>0,285%</b>	7,090%	\$12.030.637.128	\$514.681.818
Zcash	-0,791%	0,00563	<b>-1,167%</b>	0,00563	<b>0,375%</b>	6,923%	\$755.073.799	\$104.378.648
Dash	<b>-1,067%</b>	0,00494	<b>-1,549%</b>	0,00494	<b>0,479%</b>	6,066%	\$1.834.749.061	\$165.362.766
iShares Russell 2000 ETF	-0,012%	0,00078	-0,013%	0,00078	0,001%	0,962%	\$45.687.800.000	\$3.177.265.260

**Figura 3.21.** Rendimento atteso con i prezzi di chiusura, con i prezzi bid-ask, spread bid-ask medio, volatilità storica, capitalizzazione di mercato medio e volume medio giornaliero in dollari statunitensi di Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, EOS, Ethereum Classic, Monero, Bitcoin Cash, Zcash, Dash e iShares Russell 2000 ETF. Orizzonte temporale: 03/05/2018-29/11/2018.

Prima di tutto, si può osservare come tutti i differenziali denaro-lettera medi delle criptovalute qui considerate sono risultati statisticamente significativi. In altre parole, sono sostanzialmente diversi da zero dal punto di vista statistico. Ciò porta a ritenere che tali monete crypto abbiano uno *spread* più o meno incisivo (ma sempre influente) sui rendimenti attesi calcolati con i prezzi di chiusura, a seconda del valore assunto da tale misura di liquidità.

Invece, tra i rendimenti derivati dai prezzi di chiusura, solamente quelli il cui valore eccede, in negativo, l'1% sono risultati statisticamente significativi. La situazione cambia se si considerano i rendimenti attesi calcolati con i prezzi denaro e lettera. In questo caso, solamente Bitcoin, Ripple e l'*iShares Russell 2000 ETF* non hanno dei rendimenti statisticamente diversi da zero. Questo risultato potrebbe essere dovuto dai loro rendimenti attesi calcolati con i prezzi di chiusura, vicini a zero seppure anche essi negativi, unitamente a degli *spread bid-ask* relativamente contenuti, che non creano differenze molto marcate tra i due diversi rendimenti per tali *asset*. Infatti, essi hanno i tre rendimenti attesi minori del campione analizzato, congiuntamente ai due minori differenziali insieme al quinto minore differenziale, quest'ultimo comunque modesto rispetto ai beni considerati.

Si può notare una differenza netta tra gli *spread bid-ask* osservati nelle monete crypto e quello osservato nell'*iShares Russell 2000 ETF*. Quest'ultimo ha un valore dello 0,001%. Tra le monete crypto, Bitcoin registra le migliori prestazioni, con un differenziale dello 0,04%. Invece, le altre criptovalute hanno degli *spread* medi più ampi, compresi tra lo 0,107% e lo 0,479%.

Per poter commentare meglio lo stato di liquidità del settore in questione, si è verificata l'esistenza di possibili relazioni tra l'ampiezza del differenziale denaro-lettera e grandezze come il volume medio scambiato giornalmente (espresso in dollari statunitensi), la capitalizzazione di mercato

(anche se per l'ETF è stato riportato in tabella il suo *Asset Under Management*, AUM) e la sua volatilità storica (**figura 3.22**). Utilizzando il campione a disposizione, composto da 11 coppie di valori per ciascun test di correlazione di Pearson, si sono ottenuti i seguenti risultati:

$\rho$	Cap. di mercato media	Volume medio giornaliero	Volatilità storica
<b>Spread bid-ask</b>	<b>-0,602</b>	<b>-0,677</b>	<b>0,639</b>
(Errore standard)	(-0,266)	(-0,245)	(-0,256)

**Figura 3.22** Correlazioni dello spread bid-ask con la capitalizzazione di mercato media, il volume medio giornaliero e la volatilità storica. Orizzonte temporale: 03/05/2018-29/11/2018.

Come era abbastanza prevedibile, tali correlazioni sono significativamente diverse da zero, e denotano una relazione lineare positiva mediamente forte tra lo *spread bid-ask* e la volatilità storica ed una relazione lineare negativa mediamente forte tra lo *spread bid-ask* e la capitalizzazione di mercato media e tra lo *spread bid-ask* ed il volume medio giornaliero. Infatti, le criptovalute risultano al tempo stesso più volatili e mostrano dei differenziali denaro-lettera più ampi rispetto all'ETF preso in considerazione come parametro di liquidità. Tuttavia, da questa analisi sembrerebbe che l'estensione di tali *spread*, anche tenuto conto della volatilità ad essi associata, sia sintomo di una liquidità certamente minore rispetto agli *exchange-traded fund* più scambiati nei mercati globali, ma al tempo stesso di una liquidità non elevata in senso assoluto. Ciò è ben visibile se si confrontano i differenziali delle criptomonete con i rispettivi rendimenti generati dai prezzi denaro e lettera, in modo da avere un'idea dell'impatto dei primi sui secondi.

	Impatto dello spread sui rendimenti bid-ask	Spread bid-ask massimo
<b>Bitcoin</b>	7,2%	0,148%
<b>Ethereum</b>	8,3%	0,322%
<b>Ethereum Classic</b>	12,0%	1,217%
<b>Litecoin</b>	12,5%	0,422%
<b>Ripple</b>	21,6%	0,555%
<b>EOS</b>	12,7%	0,495%
<b>Monero</b>	22,2%	2,747%
<b>Bitcoin Cash</b>	17,0%	3,505%
<b>Zcash</b>	32,2%	1,789%
<b>Dash</b>	31,0%	2,241%
<b>iShares Russell 2000 ETF</b>	7,9%	0,014%

**Figura 3.23** Impatto medio del differenziale denaro-lettera sul rendimento giornaliero calcolato con i prezzi denaro e lettera e differenziale denaro-lettera massimo per Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, EOS, Ethereum Classic, Monero, Bitcoin Cash, Zcash, Dash e iShares Russell 2000 ETF. Orizzonte temporale: 03/05/2018-29/11/2018.

Infatti, ad eccezione di Bitcoin, gli *spread* calcolati hanno un peso molto influente nel rispettivo tipo di rendimento considerato, il quale incorpora al suo interno proprio tali differenziali, costituendo così un costo di transazione implicito per l'investitore non trascurabile<sup>238</sup>. Per esempio,

<sup>238</sup> <https://www.borsaitaliana.it/borsa/glossario/bid-ask-spread.html>

essi incidono sui rendimenti *bid-ask* di Bitcoin per il 7,2%. All'estremo opposto abbiamo Dash, con il 31,0%, e Zcash, con il 32,2%: in altre parole, il rendimento *bid-ask* negativo di queste due valute cripto è composto per circa un terzo dal solo *spread*, suggerendo quindi un rischio di liquidità considerevole. Per gli altri beni considerati, si osservi la figura 3.23.

Nella figura 3.23, sono riportati anche gli *spread bid-ask* massimi registrati dagli *asset* considerati nel periodo temporale analizzato. Come si può notare, i valori elevati assunti da alcune criptovalute, anche superiori all'1%, indicano, unitamente a quanto riferito sinora, uno stato di liquidità contenuta.

Adesso concentriamoci su Dash. Nel periodo temporale analizzato tale asset è tra le prime 15 valute cripto per capitalizzazione: dovrebbe quindi essere membro dell'indice CRIX, *benchmark* dell'ipotetico ETF in questo settore (si riguardi la figura 3.6).

Quindi potremmo ritenere in primo luogo che un *fund manager* che decidesse di implementare un ETF che tenta di replicare tale indice, dovrebbe agire sul mercato acquistando delle monete Dash i quali, seppure in misura limitata a causa del peso verosimilmente ridotto di tale bene all'interno dell'indice, generano un rischio di liquidità rilevante. In secondo luogo, le correlazioni dello *spread bid-ask* con la capitalizzazione di mercato media, il volume medio giornaliero e la volatilità storica presentate nella figura 3.22 potrebbero indurci a pensare che monete cripto con caratteristiche analoghe a quelle di Dash (e potenzialmente membri dell'indice nell'intervallo temporale considerato) abbiano dei differenziali medi simili a tale bene, intorno allo 0,3%-0,5%, essendo anche esse moderatamente liquide.

Il livello di liquidità ridotto delle criptomonete può essere ulteriormente verificato osservando la figura 3.24, la quale riporta i rendimenti attesi calcolati con i prezzi di chiusura e con i prezzi *bid-ask* e gli *spread bid-ask* dei beni finanziari considerati in questa analisi, nell'intervallo compreso tra il 3 maggio 2018 ed il 30 agosto 2019.

	E(r) prezzi di chiusura	Err. St.	E(r) prezzi bid-ask	Err. St.	Spread bid ask medio
<b>Bitcoin</b>	0,014%	0,00241	-0,034%	0,00242	<b>0,048%</b>
<b>Ethereum</b>	-0,402%	0,00313	-0,545%	0,00309	<b>0,140%</b>
<b>Ripple</b>	-0,349%	0,00297	-0,496%	0,00297	<b>0,147%</b>
<b>Litecoin</b>	-0,242%	0,00321	-0,450%	0,00321	<b>0,208%</b>
<b>EOS</b>	-0,509%	0,00362	<b>-0,771%</b>	0,00361	<b>0,261%</b>
<b>Ethereum Classic</b>	-0,343%	0,00321	<b>-0,635%</b>	0,00321	<b>0,291%</b>
<b>Monero</b>	-0,374%	0,00312	<b>-0,666%</b>	0,00312	<b>0,291%</b>
<b>Bitcoin Cash</b>	-0,472%	0,00410	<b>-0,836%</b>	0,00410	<b>0,364%</b>
<b>Zcash</b>	-0,538%	0,00325	<b>-1,047%</b>	0,00324	<b>0,507%</b>
<b>Dash</b>	-0,512%	0,00318	<b>-1,189%</b>	0,00317	<b>0,673%</b>
<b>iShares Russell 2000 ETF</b>	-0,011%	0,00059	-0,013%	0,00059	<b>0,002%</b>

**Figura 3.24.** Rendimento atteso con i prezzi di chiusura, con i prezzi bid-ask, spread bid-ask medio di Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, EOS, Ethereum Classic, Monero, Bitcoin Cash, Zcash, Dash e iShares Russell 2000 ETF. Orizzonte temporale: 03/05/2018-30/08/2019.

Osservando un periodo temporale più ampio rispetto al precedente, si hanno dei valori differenti tra le **figure 3.21 e 3.24**. Bitcoin per esempio registra un rendimento atteso calcolato con i prezzi di chiusura positivo, e pari allo 0,014%, anche se non risulta statisticamente significativo. Comunque sia, l'esistenza di un differenziale denaro-lettera significativamente diverso da zero e pari allo 0,048% è tale per cui esso annulla il rendimento sopra menzionato: infatti, il rendimento atteso effettivo, dato dal rendimento atteso calcolato con i prezzi denaro e lettera, è negativo, pari al -0,034%.

Questo interessante risultato conferma come le monete crypto presentano un rischio di liquidità che non può essere trascurato, in quanto il costo implicito per sostenere una transazione in questo settore, come si è mostrato per esempio nel caso di Bitcoin, potrebbe essere tale per cui, anche nel caso di un rendimento atteso positivo calcolato con i prezzi di chiusura (tipologia utilizzata nella prassi), riesce ad abatterlo totalmente, registrando effettivamente non un guadagno, ma una perdita in quanto un bene finanziario è sempre acquistato in un mercato al suo prezzo *ask* ed è sempre venduto al suo prezzo *bid*.

Di conseguenza, potrebbe sorgere un *tracking error* tra l'indice CRIX e l'ETF non trascurabile, portando a dei profitti e delle perdite non previste ed una maggiore instabilità dei rendimenti dello strumento finanziario rispetto al suo indice *benchmark*.

## CONCLUSIONI

Questo studio ha cercato di verificare la possibile implementazione di un *exchange-traded fund* nel settore delle criptovalute. Sinteticamente, si è prima di tutto replicata la costruzione dell'indice CRIX, *benchmark* scelto dell'ETF, mediante la metodologia creata da Trimborn e Härdle<sup>239</sup>, applicata ai dati raccolti e descritti nella sezione 3.1 di questo elaborato, e verificato la sua capacità di rappresentare il mercato analizzato. Successivamente, si è verificato la sua prestazione in termini di rischio e rendimento, mediante il calcolo degli indici di Sharpe e di Sortino e del *Value at Risk* e della *Expected Shortfall*, e la sua capacità o meno di essere diversificato al suo interno e di diversificare degli investimenti effettuati nei principali beni finanziari globali, applicando il test di correlazione di Pearson e la *Principal Component Analysis*. Infine, si è analizzato il livello di liquidità del settore delle criptovalute, mediante l'ausilio degli *spread bid-ask*.

I risultati ottenuti mostrano come un indice che adotta la stessa metodologia alla base del CRIX può costituire il *benchmark* di un ipotetico *exchange-traded fund* nel settore delle monete cripto in quanto ben rappresentativo della direzione e dei valori assunti da tale mercato, come testimoniano gli ottimi valori di *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) e *Mean Directional Accuracy* (MDA). Inoltre, dato il numero contenuto di membri dell'indice CRIX e la sua ridotta variabilità tra due trimestri consecutivi, un *fund manager* non dovrebbe avere difficoltà ad operare sui mercati finanziari per modificare la composizione dell'ETF sulle criptovalute sulla base delle variazioni apportate all'indice *benchmark*. Infatti, nell'orizzonte temporale considerato il numero massimo è stato 55, a fronte di oltre 2000 diverse monete cripto esistenti. Tale risultato assume ulteriormente significato se si tiene conto che alcuni tra gli ETF più scambiati al mondo tentano di replicare indici con un numero di membri molto più elevato al suo interno, come per esempio lo S&P 500 ed il Russell 2000. Inoltre, tra due trimestri consecutivi il numero di componenti non è variato eccessivamente: tale differenza si è attestata intorno ai 15-20 membri. La variazione più ampia (pari a 35) è avvenuta durante la formazione della bolla speculativa di fine 2017. Dall'analisi svolta, essa potrebbe essere ritenuta eccezionale e legata a tale evento inusuale.

Un *exchange-traded fund* in questo mercato dovrebbe risultare appetibile per un investitore per i seguenti motivi. Prima di tutto, l'indice CRIX (suo ipotetico *benchmark*) è risultato adeguatamente diversificato al suo interno ed ha ottenuto delle prestazioni migliori rispetto alle singole monete cripto. Inoltre, nonostante la sua elevata volatilità, ha ottenuto la migliore prestazione in fatto di rendimento aggiustato per il rischio, sia in termini di *Sharpe ratio* che *Sortino ratio*, rispetto ai

---

<sup>239</sup> Trimborn, S., & Härdle, W. K. (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. *Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)*



principali indici di mercato globali e *commodity*. In secondo luogo, tale ETF permetterebbe di diversificare degli investimenti effettuati da un individuo in strumenti finanziari che replicano i principali indici di mercato globali e/o nelle principali *commodity*, come l'oro ed il petrolio. Infatti, secondo l'approccio di Markowitz si sono costruiti due portafogli i cui *Sharpe ratio* sono stati superiori rispetto agli altri due portafogli composti dagli stessi *asset* ma escludendo l'ETF sulle monete cripto. Tale risultato è stato riscontrato sia per una strategia di investimento che prevede la vendita allo scoperto dei beni rischiosi componenti il portafoglio, sia nel caso in cui non venga prevista. Infine, l'inserimento dell'ETF sulle valute cripto nel portafoglio ottimo rischioso di Markowitz incrementa la quota del portafoglio ottimo completo dedicata ai beni rischiosi per entrambe le strategie di investimento, dimostrando ulteriormente le sue qualità in termini di rendimento aggiustato per il rischio e di diversificazione.

Tuttavia, tale ETF presenterebbe anche degli aspetti negativi, che non possono essere sottovalutati. Infatti, dall'analisi svolta è risultato che l'indice CRIX ha avuto storicamente dei *Value at Risk* ed *Expected Shortfall* molto più elevati rispetto alle classi d'investimento tradizionali. Ciò si traduce in una potenziale perdita giornaliera considerevole, nel caso di un investimento effettuato nell'ETF sulle criptovalute. Di conseguenza, tale ETF non potrebbe essere un investimento idoneo per un individuo che non può sostenere possibili perdite rilevanti, come il 10-15% del proprio capitale.

In aggiunta, vi è un fattore molto importante da tenere in considerazione: la modesta liquidità di tale mercato. Dal momento che per essa si intende l'attitudine, per uno strumento finanziario, ad essere convertito in moneta legale rapidamente e a costi contenuti, una sua bassa liquidità riduce l'efficienza economica della conversione in moneta legale dello stesso, con la conseguenza che il *fund manager* deve accettare di pagare un prezzo più elevato rispetto al suo reale valore per acquistare tale bene e di ricevere un prezzo più basso rispetto al suo reale valore per vendere tale bene. Questa situazione potrebbe implicare un *tracking error* non trascurabile: il *fund manager* troverebbe delle difficoltà nel tentare di replicare l'indice CRIX, causando delle differenze tra i rendimenti ottenuti dall'indice ed i rendimenti ottenuti dall'ETF rilevanti, portando a dei profitti e delle perdite non previste ed una maggiore instabilità dei rendimenti dello strumento finanziario rispetto al suo indice *benchmark*. Al tempo stesso, tale ETF potrebbe non essere un buon prodotto finanziario per coloro che prediligono degli investimenti a breve termine, dal momento che, secondo Agarwal, Hanouna, Moussawi e Stahel, la liquidità dell'ETF stesso e dei beni sottostanti si muove nella stessa direzione<sup>240</sup>.

Comunque sia, l'attuale esistenza di diversi ETF in settori sottostanti dichiaratamente poco liquidi,

---

<sup>240</sup> Agarwal, V., Hanouna, P., Moussawi, R., & Stahel, C. W. (2018). Do ETFs increase the commonality in liquidity of underlying stocks?.

come il Vanguard U.S. Liquidity Factor ETF<sup>241</sup>, porterebbe a ritenere che, sulla base dello studio qui svolto e delle considerazioni sopra effettuate, la possibile implementazione di un *exchange-traded fund* sul mercato delle criptovalute non dovrebbe essere una questione di *se*, ma solamente di *quando*.

È importante ricordare che i risultati ottenuti dallo studio effettuato si basano su osservazioni storiche. Di conseguenza, implicitamente si è assunto che tali dati possano rispecchiare quanto accadrà in futuro. Tale ipotesi è comunemente usata per la sua semplicità, però non sempre è riscontrato nella realtà. Infatti, di solito i rendimenti nei mercati finanziari non sono caratterizzati da stazionarietà. Potrebbe bastare ripetere quanto svolto in questo elaborato, con un orizzonte temporale differente, per poter ottenere dei risultati distanti da quelli qui presentati. Quindi, non dovrebbero essere fatte delle dichiarazioni oggettive ed inconfutabili relative le future prestazioni dell'indice CRIX e degli altri *asset* considerati nell'analisi, ma solo prendere atto del loro comportamento storico e fare eventuali valutazioni basate su di esso, potenzialmente soggette ad errori di previsione. Per questo, una prima raccomandazione per ulteriori ricerche future potrebbe essere quella di fare ricorso a dei modelli di previsione, come i modelli ARMA e GARCH, al fine di poter estrapolare una stima della futura serie storica dell'indice *benchmark*, anch'essa soggetta ad errore di previsione, ma metodologicamente più valida ed affidabile rispetto a quanto assunto in questo lavoro.

Inoltre, è importante sottolineare come in questa trattazione si è discussa la possibile istituzione di un ETF nel settore delle valute crypto senza tenere conto delle normative nazionali ed internazionali esistenti sulle criptovalute, che potrebbero influenzare in maniera determinante i risultati ottenuti nel lavoro qui presentato. Quindi, un altro consiglio per estendere la letteratura in materia potrebbe essere quello di includere nell'analisi tali eventuali vincoli, al fine di verificare se sia possibile una istituzione di un *exchange-traded fund* nel settore.

Infine, dati i risultati ottenuti nel caso di un ETF avente l'indice CRIX come *benchmark*, si potrebbe consigliare per dei lavori futuri di provare a costruire degli indici di mercato che penalizzano fortemente la liquidità modesta e l'elevato rischio di mercato delle monete crypto, ed analizzare le sue prestazioni e la sua capacità o meno di rappresentare il settore in maniera adeguata.

---

<sup>241</sup> <https://advisors.vanguard.com/iwe/pdf/FASFALQ.pdf> (consultato il 20/09/2019)

## BIBLIOGRAFIA

- Agarwal, V., Hanouna, P., Moussawi, R., & Stahel, C. W.** (2018). Do ETFs increase the commonality in liquidity of underlying stocks?.
- Akaike, H.** (1974). A new look at the statistical model identification. *In Selected Papers of Hirotugu Akaike* (pp. 215-222). Springer, New York, NY.
- Akaike, H.** (1998). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. Ed. by E. Parzen, K. Tanabe, and G. Kitagawa. Springer Series in Statistics. Springer New York, 199–213.
- Amihud, Y., & Mendelson, H.** (1986). Asset pricing and the bid-ask spread. *Journal of financial Economics*, 17(2), 223-249.
- Amihud, Y., & Mendelson, H.** (1986). Liquidity and stock returns. *Financial Analysts Journal*, 42(3), 43-48.
- Ammous, S.** (2018). Can cryptocurrencies fulfil the functions of money. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 70, 38-51.
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D.** (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical finance*, 9(3), 203-228.
- Aste, T.** (2016). The Fair Cost of Bitcoin Proof of Work. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2801048>
- Black, K.** (2011). *Business Statistics for Contemporary Decision Making*. John Wiley & Sons.
- Bodie, Z., Kane, A. & Marcus, A. J.** (2013). *Investments*. McGraw-Hill Education.
- Bozdogan, H.** (1987). Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika*, 52(3), 345-370.
- Brito, J., & Castillo, A.** (2013). *Bitcoin: A primer for policymakers*. Mercatus Center at George Mason University.
- Buterin, V.** (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform. white paper.
- Chen, S., Chen, C., Härdle, W. K., Lee, TM & Ong, B.** (2016). A First Econometric Analysis of the CRIX Family. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2832099>
- Chohan, U. W.** (2017). Cryptocurrencies: A brief thematic review. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=3024330>
- Chohan, U. W.** (2018). Proof-of-Stake Algorithmic Methods: A Comparative Summary. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=3131897>
- Chuen, K., Lee, D., (Ed.).** (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.

- Chuen, K., Lee, D., Guo, L., & Wang, Y.** (2017). Cryptocurrency: A new investment opportunity?. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2994097>
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V.** (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2(6-10), 71.
- De Tullio, J.** (2018). La matematica dei minatori della blockchain.
- Duffie, D., & Pan, J.** (1997). An overview of value at risk. *Journal of derivatives*, 4(3), 7-49.
- Elendner, H., Trimborn, S., Ong, B., & Lee, T. M.** (2016). *The cross-section of cryptocurrencies as financial assets: An overview* (No. 2016-038). SFB 649 Discussion paper.
- Epanechnikov, V. A.** (1969). Non-parametric estimation of a multivariate probability density. *Theory of Probability & Its Applications*, 14(1), 153-158.
- Fama, E. F., & French, K. R.** (1993). Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of financial economics*, 33(1), 3-56.
- Franke, J., Hardle, W. K., & Hafner, C. M.** (2015). Statistics of Financial Markets: an Introduction. *Springer Science & Business Media*.
- Glaser, F. and Bezenberger, L.** (2015). Beyond Cryptocurrencies - A Taxonomy of Decentralized Consensus Systems. *23rd European Conference on Information Systems (ECIS), Münster, Germany, 2015. Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2605803>
- Härdle, W. K., Müller M., Sperlich S., & Werwatz A.** (2004). Nonparametric and Semiparametric Models. *Springer Science & Business Media*.
- Harwick, C.** (2016). Cryptocurrency and the Problem of Intermediation. *The Independent Review*, 20(4), 569-588. *Disponibile su* <http://www.jstor.org/stable/44000162>
- Hastie, T., James, G., Tibshirani, R., & Witten, D.** (2013). An introduction to statistical learning with applications in R.
- Hileman, G., & Rauchs, M.** (2017). Global cryptocurrency benchmarking study. *Cambridge Centre for Alternative Finance*, 33.
- Horton, N. J., & Kleinman, K. P.** (2007). Much ado about nothing: A comparison of missing data methods and software to fit incomplete data regression models. *The American Statistician*, 61(1), 79-90.
- Houy, N.** (2014). It Will Cost You Nothing to 'Kill' a Proof-of-Stake Crypto-Currency. *Disponibile su SSRN*: <https://ssrn.com/abstract=2393940>
- Hull, J.** (2015). *Risk management and financial institutions*. John Wiley & Sons.
- Jarque, C. M., & Bera, A. K.** (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics letters*, 6(3), 255-259.

- Hurvich, C. M., & Tsai, C. L.** (1989). Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika*, 76(2), 297-307.
- Kaplanov, N.** (2012). Nerdy money: Bitcoin, the private digital currency, and the case against its regulation. *Loy. Consumer L. Rev.*, 25, 111
- Kareem, A., Bin Sulaiman, R., & Umer Farooq, M.** (2018). Algorithms And Security Concern In Blockchain Technology: A Brief Review. *Muhammad, Algorithms and Security Concern in Blockchain Technology: A Brief Review. Disponibile su SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3234933>*
- Keim, D. B.** (1999). An analysis of mutual fund design: the case of investing in small-cap stocks. *Journal of Financial Economics*, 51(2), 173-194.
- Kenward, M. G., & Molenberghs, G.** (2009). Last observation carried forward: a crystal ball?. *Journal of biopharmaceutical statistics*, 19(5), 872-888.
- Kim, S., & Kim, H.** (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3), 669-679.
- Markowitz, H.** (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.
- Matonis, J.** (2013). Bitcoin gaining market-based legitimacy as XBT. *Disponibile su CoinDesk: <http://www.coindesk.com/bitcoin-gaining-market-based-legitimacy-xbt/>*
- Nakamoto, S.** (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.
- Nguyen, G. T., & Kim, K.** (2018). A Survey about Consensus Algorithms Used in Blockchain. *Journal of Information processing systems*, 14(1).
- Osterrieder, J., & Lorenz, J.** (2017). A statistical risk assessment of Bitcoin and its extreme tail behavior. *Annals of Financial Economics*, 12(01), 1750003.
- Pacia, C.** (2013). *Bitcoin mining explained like you're five: part 2—mechanics*. Escape Velocity. Disponibile su <http://chrispacia.wordpress.com/2013/09/02/bitcoin-mining-explained-like-youre-five-part2-mechanics/> (accesso 18/04/2019)
- Poterba, J. M., & Shoven, J. B.** (2002). Exchange-traded funds: A new investment option for taxable investors. *American Economic Review*, 92(2), 422-427.
- Primi, C., & Chiesi, F.** (2009). La selezione dei modelli: dalla verifica dell'ipotesi nulla al contributo dell'AIC (Akaike Information Criterion). *Giornale italiano di psicologia*, 36(4), 913-924.
- Rockafellar, R. T., & Uryasev, S.** (2002). Conditional value-at-risk for general loss distributions. *Journal of banking & finance*, 26(7), 1443-1471.
- Rollinger, T., & Hoffman, S.** (2013). Sortino ratio: A better measure of risk. *Futures Magazine*, 1(02).
- Ross, S. M.** (2010). *Introductory Statistics*. Academic Press.

- Roy, S.** (2019). 15 Most Actively Traded ETFs. *Yahoo Finance*. Disponibile su <https://finance.yahoo.com/news/15-most-actively-traded-etfs-180000214.html>
- Scaillet, O.** (2004). Nonparametric estimation and sensitivity analysis of expected shortfall. *Mathematical Finance: An International Journal of Mathematics, Statistics and Financial Economics*, 14(1), 115-129.
- Sharpe, W. F.** (1966). Mutual fund performance. *The Journal of business*, 39(1), 119-138.
- Sharpe, W. F.** (1994). The sharpe ratio. *Journal of portfolio management*, 21(1), 49-58.
- Sheather, S. J., & Jones, M. C.** (1991). A reliable data-based bandwidth selection method for kernel density estimation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 53(3), 683-690.
- Shibata, R.** (1983). Asymptotic mean efficiency of a selection of regression variables. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 35(3), 415-423.
- Smith, L. I.** (2002). *A tutorial on principal components analysis*.
- Smith, N.** (2018). Yep, Bitcoin Was a Bubble. And It Popped. *Bloomberg*. Disponibile su <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2018-12-11/yep-bitcoin-was-a-bubble-and-it-popped>
- Southurst, J.** (2014). Apple removes blockchain bitcoin wallet apps from its app stores. *CoinDesk*. Disponibile su: <http://www.coindesk.com/apple-removes-blockchain-bitcoin-wallet-from-app-stores/> (accesso in data 17/04/2019)
- Tasca, P.** (2015). Digital Currencies: Principles, Trends, Opportunities, and Risks. Disponibile su SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2657598>
- Trimborn, S., & Härdle, W. K.** (2016). CRIX an Index for blockchain based Currencies. Disponibile su SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2800928](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2800928)
- Ulm, B.** (2014). Bitcoin ATMs boom: new locations. *CoinTelegraph*. Disponibile su <http://cointelegraph.com/news/112163/bitcoin-atms-boom-new-locations>
- Vukolić, M.** (2015). The quest for scalable blockchain fabric: Proof-of-work vs. BFT replication. In “*International workshop on open problems in network security*” (pp. 112-125). Springer, Cham.
- Wand, M. P., & Jones, M. C.** (1994). Multivariate plug-in bandwidth selection. *Computational Statistics*, 9(2), 97-116.
- Wei, W. C.** (2018). The impact of Tether grants on Bitcoin. *Economics Letters*, 171, 19-22.
- White, L. H.** (2015). The market for cryptocurrencies. *Cato J.*, 35, 383.
- Witte, R. S., & Witte, J. S.** (2013). *Statistics*. John Wiley & Sons.
- Yermack, D.** (2015). Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. In *Handbook of digital currency* (pp. 31-43). Academic Press.

**Zhang, J., Sheng, V. S., Li, Q., Wu, J., & Wu, X.** (2017). Consensus algorithms for biased labeling in crowdsourcing. *Information Sciences*, 382, 254-273.

## SITOGRAFIA

<https://coinmarketcap.com/>  
<https://www.consob.it/>  
<https://www.investopedia.com/>  
<https://bitcoin.org/>  
<https://www.paypal.com/>  
<http://www.xe.com/>  
<https://localbitcoins.com/>  
<http://www.coindesk.com/>  
<https://wiki.trezor.io/>  
<https://us.spindices.com/>  
<https://www.ftserussell.com/>  
<https://www.wilshire.com/>  
<https://www.dax-indices.com/>  
<https://www.binance.com/>  
<https://www.cardano.org/>  
<https://www.coingecko.com/>  
<https://www.borsaitaliana.it/>  
<http://www.morningstar.it/>  
[https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data\\_library.html](https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data_library.html)  
<https://www.bloomberg.com/>  
<https://research.ftserussell.com/>  
<http://www.csindex.com.cn/>  
<https://indexes.nikkei.co.jp/nkave>  
<https://www.stoxx.com/>  
<https://www.cmegroup.com/>  
<https://www.theice.com/>  
<https://www.msci.com/>  
<https://www.r-project.org/>  
<https://github.com/QuantLet/CRIX>  
<https://www.bmv.com.mx/>  
<https://advisors.vanguard.com/>



Dipartimento di Economia e Finanza  
Cattedra di Teoria e Gestione del Portafoglio

*Exchange-traded fund* nel mercato delle  
criptovalute: una nuova realtà?

**ABSTRACT**

Prof. Nicola Borri

---

RELATORE

Prof. Pierpaolo Benigno

---

CORRELATORE

Simone Motta

700111

---

CANDIDATO

Anno Accademico: 2018/2019

## INTRODUZIONE

Il presente lavoro nasce perché ad oggi non risulterebbe possibile poter allocare parte delle proprie disponibilità economiche in uno strumento finanziario che permetta di delegare le decisioni in merito alla scelta dei beni di investimento ed al peso da attribuire a ciascuno di essi ad un *fund manager*, nel caso in cui si voglia costruire un portafoglio composto da criptovalute, come un *exchange-traded fund*. Ciò potrebbe disincentivare un possibile investimento in questo settore emergente oppure rendere il processo che porta a tale investimento poco efficiente, nel caso in cui un ipotetico paniere di monete cripto sia costruito personalmente da un individuo con poche conoscenze in termini di teoria e gestione del portafoglio, o nel caso in cui tale soggetto decida di allocare parte del suo capitale solamente nella valuta cripto più conosciuta ed affermata nel settore, Bitcoin, perdendo così un potenziale vantaggio fornito dalla diversificazione.

Le monete cripto rappresentano un mercato nuovo, esistente da soli dieci anni. Nonostante ciò, le valute cripto hanno avuto un impatto forte nel contesto globale, e da quel momento sono nate sempre più diverse tipologie. Tali valute sono caratterizzate dal ricorso alla *Blockchain*, la quale, secondo molti esperti, costituisce la vera novità, portata alla luce per la prima volta dal bitcoin, e rivoluzionerà il mondo intero, come fece a suo tempo Internet.

Per di più, l'espansione di tale mercato, ed in particolare del bitcoin, ha portato ad un aumento vertiginoso del suo valore, generando dei guadagni impossibili da ottenere con investimenti effettuati nelle classi di investimento tradizionali per quei pochi individui che decisero di puntare su questo settore emergente sin dai suoi primi anni di esistenza. Inoltre, nonostante la formazione della bolla speculativa negli ultimi mesi del 2017 e sua esplosione nella prima settimana del 2018, tale mercato esiste tuttora, e registra valori relativi la capitalizzazione ed il volume di scambio ancora considerevoli. Di conseguenza, tale settore ha conservato e conserva anche adesso una sua appetibilità che non dovrebbe essere trascurata dalla platea di investitori.

Per queste ragioni sarà presentata qui una analisi di portafoglio su un indice rappresentativo del mercato delle valute cripto, il quale rappresenta il *benchmark* da replicare per un possibile *exchange-traded fund* in questo settore, al fine di verificare se tale indice abbia delle caratteristiche tali per possa essere ritenuta possibile una sua implementazione.

### **CAPITOLO 1. Criptovalute: definizione e loro mercato**

Una criptovaluta è una tipologia di moneta che si genera e si scambia esclusivamente per via telematica, e non è emessa da una banca centrale. Si tratta di una valuta utilizzabile solo conoscendo un determinato codice informatico (le c.d. “chiavi di accesso” pubblica e privata). Essa è espressa come una stringa di *bit*. Il suo trasferimento da una persona ad una altra avviene mediante messaggio, il quale è ricevuto da una rete informatica *peer-to-peer* nella quale

appartengono tutti i soggetti che utilizzano una determinata moneta cripto. Questa transazione, inserita in un blocco insieme ad altre transazioni in attesa di essere confermate, necessita di essere inclusa in una *Blockchain* al fine di essere ritenuta valida.

La *Blockchain* è un libro mastro pubblico e condiviso sulla rete di computer appartenenti a tutti coloro che utilizzano una determinata moneta cripto, nella quale sono registrate tutte le transazioni effettuate per mezzo di questa moneta, in ordine cronologico. Ogni transazione è autorizzata con il consenso della maggioranza degli utenti della rete. Una volta che la transazione è confermata ed inserita all'interno della *Blockchain*, essa non può essere eliminata da tale registro. La *Blockchain* è come una catena di blocchi, dove al loro interno sono registrate tutte le transazioni valide. Il blocco più recente è la versione più aggiornata di questo libro mastro. Infatti, nel caso in cui sia creato un nuovo blocco, quest'ultimo deve includere sia le nuove transazioni che tutte le transazioni precedenti la modifica. Il processo di approvazione comporta la risoluzione di problemi matematici utilizzando le funzioni *hash* crittografiche sul nuovo blocco contenente i dati della transazione da approvare. Il primo utente che riesce a trovare la soluzione è in grado di autorizzare le transazioni, e rende possibile l'aggiunta di tale blocco alla *Blockchain*. Le funzioni *hash* crittografiche sono un tipo particolare di funzioni *hash*. Le funzioni *hash* base accettano degli input di lunghezza *variabile*, come le informazioni riguardo le parti contraenti la transazione, l'ammontare di denaro trasferito, la data e l'ora dell'operazione, per generare degli output di lunghezza *fissa*, chiamati anche *hash value*. Invece, una funzione *hash* crittografica combina quanto appena detto con delle proprietà tali da rendere difficile rilevare il contenuto di un messaggio o le informazioni relative i destinatari ed i mittenti della negoziazione senza la conoscenza delle chiavi di accesso.

Ogni *Blockchain* relativa ad una valuta cripto ha un suo specifico meccanismo di consenso di una determinata transazione: i più diffusi sono il *Proof-of-Work* (PoW) ed il *Proof-of-Stake* (PoS). Con un meccanismo PoW, chiunque può iniziare a partecipare al processo di estrazione di una criptomoneta: non è necessario ottenere una autorizzazione per poter iniziare l'attività di verifica delle transazioni, chiamata *mining*. La capacità di un nodo (ossia di un utente) di risolvere il problema matematico, e quindi di produrre il blocco successivo, dipende dalla potenza di calcolo imputata a tale nodo, quindi dalla potenza delle componenti hardware e software detenute. Quando un nodo trova l'*hash value*, esso fornisce una prova di lavoro (*Proof-of-Work*) relativa la transazione e trasmette il suo blocco, al cui interno vi sono sia le transazioni già registrate nel libro mastro, che le nuove transazioni in attesa di essere confermate e lo stesso *hash value*, agli altri nodi della rete per informarli che la soluzione è stata trovata, così da smettere di cercare la soluzione. Invece, verificano che tutte le transazioni all'interno del blocco siano valide. Se le

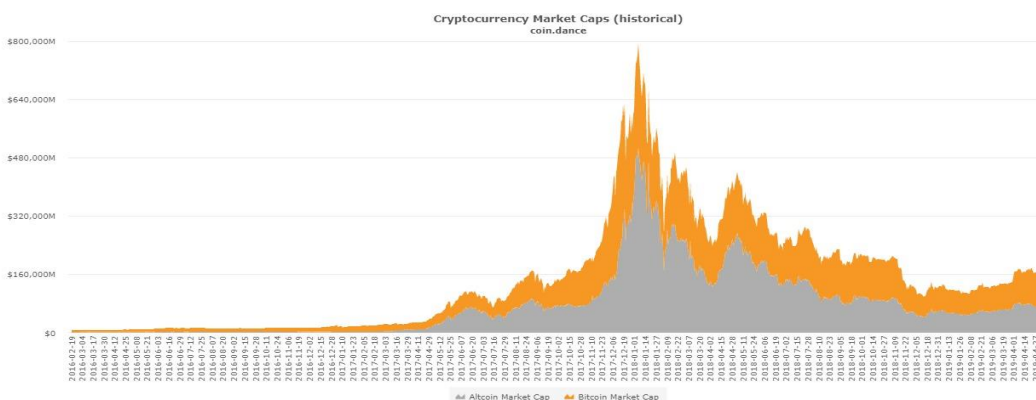
transazioni sono valide, essi aggiungono il blocco alla loro catena corrente e ricominciano a indovinare quale sia il valore segreto, ripetendo di nuovo i passaggi precedenti.

Tuttavia, può accadere che più di un utente trovi la risposta del puzzle. Inizialmente, i partecipanti trasmettono i loro blocchi alla rete. Coloro che ricevono i blocchi danno il loro consenso solo al primo blocco che recepiscono ed ignorano gli altri blocchi. Questa situazione può portare ad una divisione della *Blockchain* in più catene parallele (*forking problem*).

L'algoritmo del consenso *Proof-of-Stake* prevede che i nodi della rete non siano costituiti da minatori, bensì da utenti chiamati *validatori*. Essi non estraggono nuovi blocchi, ma li forgianno. Infatti, nelle *Blockchain* PoS il processo di inserimento di nuovi blocchi è chiamato *forging* invece di *mining*. Affinché una persona diventi un validatore, deve depositare una certa quantità di criptovaluta nella rete come posta in gioco (*stake*, in inglese). L'ammontare di moneta depositato determina la probabilità che un particolare nodo sia scelto per “forgiare” il blocco successivo. Il nodo scelto per validare il prossimo blocco controllerà se le transazioni nel blocco sono state eseguite correttamente e nel caso di esito positivo firma il blocco e lo aggiunge nella *Blockchain*. Come ricompensa, il validatore riceve le commissioni associate alle transazioni presenti all'interno del blocco che ha “forgiato”.

Attualmente, esistono migliaia di criptomonete. Alcune di esse sono dei cloni di Bitcoin, mentre altre sono definite “*forks*”, ossia delle nuove monete cripto che nascono attraverso la scissione da una *Blockchain* operante per una criptomoneta già esistente.

Si osservi l'evoluzione storica della capitalizzazione di mercato nel settore delle monete cripto, paragonata a quella di Bitcoin, mostrata nel grafico sotto riportato (**figura 1.1**). La capitalizzazione di mercato del settore è quasi triplicata tra il 20 febbraio 2016 ed il 20 febbraio 2017, raggiungendo \$ 20 miliardi, di cui circa \$ 17 miliardi e mezzo attribuibili a Bitcoin. Tra il 20 febbraio del 2017 ed il 20 febbraio del 2018, la capitalizzazione del settore aumenta vertiginosamente, diventando dieci volte più alta rispetto alla fine del periodo precedente, e arriva a quasi \$ 218 miliardi. Nello stesso periodo, Bitcoin raggiunge \$ 190 miliardi di capitalizzazione. In particolare, il 6 gennaio 2018 si registra il valore più alto di capitalizzazione del settore intero ad oggi: circa \$ 793 miliardi complessivi, di cui circa \$ 508 miliardi registrati da Bitcoin. Tuttavia, tra il 20 febbraio 2018 ed il 20 febbraio del 2019 l'intero mercato delle monete cripto vede ridursi il suo valore a circa \$ 130 miliardi, mentre la capitalizzazione di Bitcoin si riduce a \$ 70 miliardi. Al 30 aprile 2019, sia il mercato delle valute cripto che Bitcoin crescono rispetto a due mesi prima, toccando rispettivamente \$ 169 miliardi e \$ 95 miliardi. Risulta quindi visibile come i valori presentati siano di assoluto rilievo, al punto da suscitare l'attenzione dei diversi attori dei mercati finanziari e chiedersi se sia possibile istituire un ETF in questo settore emergente ma in forte crescita.



**Figura 1.1.** Evoluzione storica della capitalizzazione di mercato nel settore delle criptovalute, paragonata a quella del Bitcoin. Fonte: coin.dance.com

Bitcoin, sin dalla sua nascita, è la moneta crypto dominante per capitalizzazione di mercato. Tuttavia, fino ad inizio maggio del 2018, la sua quota di capitalizzazione nel settore era in continua diminuzione, e solo nell'ultimo anno essa ha ripreso ad aumentare. È quindi indubbio che le altre criptovalute siano cresciute rispetto ad esso, ritagliandosi sempre più spazio. Oltretutto, nonostante Bitcoin sia la moneta crypto con il valore più elevato attualmente ma anche storicamente, essa non è quella che negli ultimi due anni ha visto il suo prezzo crescere più di tutti. Di conseguenza, anche le altre valute crypto acquistano interesse per un individuo desideroso di investire nell'intero mercato, non rappresentabile ormai solamente da Bitcoin.

## **CAPITOLO 2. Definizione di un *exchange-traded fund* e metodologia utilizzata**

Si è mostrato come Bitcoin abbia ancora un peso dominante nel mercato delle monete crypto. Di conseguenza, si potrebbe pensare che un individuo desideroso di investire in questo settore non abbia la necessità di costruire un portafoglio di monete crypto, ma risulterebbe sufficiente investire solamente in Bitcoin per seguire in maniera accettabile la direzione dell'intero mercato. Tuttavia, questa affermazione non trova fondamento né in letteratura, né nei risultati empirici sul tema qui trattato finora esistenti. Infatti, Markowitz ha dimostrato nel suo articolo "*Portfolio selection*" nel 1952 come dei portafogli di titoli con un coefficiente di correlazione di Pearson minore di 1 offrano delle migliori opportunità rischio-rendimento rispetto a quelle offerte dai singoli strumenti finanziari. Inoltre, questo effetto è più ampio se i titoli sono poco correlati tra loro o, ancora meglio, se i titoli sono caratterizzati da una elevata correlazione negativa.

Inoltre, Elendner, Trimborn, Ong e Lee nel loro articolo "*The cross-section of crypto-currencies as financial assets: An overview*" del 2016 hanno scoperto che i rendimenti delle prime dieci valute crypto per capitalizzazione di mercato sono debolmente correlati l'uno con l'altro. Quindi Bitcoin, anche se domina il settore in termini di capitalizzazione, non guida il mercato. Anche i movimenti delle altre monete sono importanti quando si analizza questo settore.

Per questo, sembrerebbe lecito verificare una possibile implementazione di un *exchange-traded fund* in questo settore, per soddisfare le esigenze di coloro che non volessero investire solamente in una singola od in poche monete crypto, ma al contrario in tutto il mercato.

In linea generale, un *exchange-traded fund* (in sigla ETF) è un fondo, creato da una società che si occupa di gestirlo, costituito da un insieme di titoli finanziari il quale tenta di replicare un predeterminato indice finanziario. Una quota di ETF può essere acquistata e venduta in Borsa, come un titolo azionario, e può essere acquistata al margine e venduta allo scoperto.

In questo elaborato, l'indice *benchmark* dell'ipotetico ETF qui preso in considerazione è il CRyptocurrency IndeX (CRIX), ideato da Trimborn e Härdle ed esposto nel loro articolo “*CRIX an Index for blockchain based Currencies*” del 2016. Brevemente, tale indice è costruito partendo dall'indice di Laspeyres:

$$CRIX_t(k, \beta) = \frac{\sum_{i=1}^k \beta_{i,t_l^-} P_{it} Q_{i,t_l^-}}{Divisore(k)_{t_l^-}}$$

con  $P_{it}$  il prezzo del bene  $i$  al tempo  $t$  e  $Q_{i,t_l^-}$  la quantità del bene  $i$  al tempo  $t_l^-$ ,  $\beta_{i,t_l^-}$  il fattore di aggiustamento dell'asset  $i$  al tempo  $t_l^-$ , dove  $l$  è il fattore di aggiustamento  $l$ -esimo, e  $t_l^-$  è l'ultimo istante temporale dove abbiamo  $Q_{i,t_l^-}$ ,  $Divisore(k)_{t_l^-}$  e  $\beta_{i,t_l^-}$  aggiornati.

Il *Divisore* garantisce che l'indice CRIX abbia un valore predefinito al tempo iniziale  $t = 0$ :

$$Divisore(k, \beta)_0 = \frac{\sum_{i=1}^k \beta_{i0} P_{i0} Q_{i0}}{\text{valore iniziale}}$$

Trimborn e Härdle hanno adottato come *valore iniziale* 1000. Esso assicura che una qualsiasi variazione rispetto al periodo base sia rilevata. Ogni volta che si verificano delle modifiche dei valori delle variabili diverse dai prezzi  $P$ , il *Divisore* è a sua volta regolato in modo tale che *solo* le variazioni dei prezzi possono influenzare i valori assunti dall'indice. Definiti  $k_1$  e  $k_2$  come numero di componenti, risulta che:

$$\frac{\sum_{i=1}^{k_1} \beta_{i,t_{l-1}^-} P_{i,t_{l-1}} Q_{i,t_{l-1}^-}}{Divisore(k_1, \beta)_{t_{l-1}^-}} = CRIX_{t_{l-1}}(k_1, \beta) = CRIX_t(k_2, \beta) = \frac{\sum_{j=1}^{k_2} \beta_{j,t_l^-} P_{j,t} Q_{j,t_l^-}}{Divisore(k_2, \beta)_{t_l^-}}$$

I componenti dell'indice CRIX sono scelti utilizzando un approccio *top-down*, quindi sono incluse le più grandi società per capitalizzazione di mercato. Il peso dei componenti dell'indice al suo interno è proporzionale alla loro capitalizzazione di mercato. Il numero di componenti è variabile, può essere solo un multiplo di 5 ed è aggiornato ogni tre mesi, mentre la composizione dell'indice è rivista alla fine di ogni mese. Alla fine di ogni trimestre, il numero di componenti è definito mediante il test di informazione di Akaike. Infatti, prima di tutto è costruito il *Total Market Index* (TMI), nel quale sono incluse *tutte* le valute crypto esistenti per le quali si hanno dati a disposizione. Successivamente, sono costruiti diversi indici seguendo la metodologia del CRIX e differenti tra loro per il numero di componenti  $k_j$ . Poi si calcolano le somme delle differenze quadratiche tra i

rendimenti logaritmici del TMI e ciascun indice costruito secondo la metodologia CRIX con  $k_j$  componenti ( $\hat{\varepsilon}(k_j, \beta)^2$ ) e si stimano le densità di probabilità dei diversi indici  $f^j(\hat{\varepsilon}(k_j, \beta))$  mediante il *kernel* di Epanechnikov. Dopodiché, si applica il test di verifica delle informazioni di Akaike sui diversi  $\hat{\varepsilon}(k_j, \beta)$ . Il numero di componenti scelto sarà quello dell'indice la cui somma delle differenze  $\hat{\varepsilon}(k_j, \beta)$  ottiene il valore più piccolo del test, fra i diversi indici considerati.

Per verificare la presenza di relazioni lineari tra i rendimenti di due beni finanziari ed una possibile diversificazione di un investimento, si è ricorso al test di correlazione di Pearson, il quale può essere definito come il rapporto tra la covarianza dei rendimenti dei due *asset*  $\sigma_{ij}$  ed il prodotto delle deviazioni standard dei rendimenti delle due variabili considerate  $\sigma_i \sigma_j$ :  $\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}$ .

Esso può assumere un valore numerico compreso tra -1 e +1. Il segno indica se la relazione tra due variabili è positiva oppure negativa. Viceversa, il valore numerico rappresenta la forza della relazione. Quindi, un coefficiente di correlazione prossimo a 1 (-1) è indice di una forte dipendenza lineare positiva (negativa). Al contrario, un coefficiente di correlazione prossimo a 0 è indice di una debole dipendenza lineare, a prescindere dal segno.

Per avvalorare ulteriormente la presenza di correlazioni tra diversi beni di un campione, è stata utilizzata la *Principal Component Analysis* (PCA), una tecnica statistica che permette di diminuire la dimensione di un *dataset* rappresentabile da una matrice  $X$  di dimensioni  $n \times m$ , dove  $n$  sono il numero di osservazioni (come i giorni di una serie storica giornaliera) e  $m$  il numero di variabili considerate (per esempio le valute cripto). La PCA trasforma le  $m$  variabili in altre variabili fra loro linearmente indipendenti, denominate “componenti principali” (PC). Le componenti principali sono estratte in ordine d'importanza: da quella che spiega la quota maggiore di varianza dei dati analizzati a quella che ne spiega la quota minore.

Per misurare le prestazioni di uno strumento finanziario, si sono utilizzati due misure rappresentative dei rendimenti attesi corretti per il rischio: l'indice di Sharpe e l'indice di Sortino. L'indice di Sharpe *ex post* relativo ad un *asset*  $i$  nel periodo temporale  $T$  può essere espresso nella seguente maniera:

$$\text{Sharpe Ratio}_T^i = \frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_t^i - \bar{r}_t^f)}{\sigma_t^d}$$

dove  $r_t^i$  è il rendimento nell'istante temporale  $t$  relativo ad uno strumento finanziario  $i$ ,  $\bar{r}_t^f$  è il rendimento nell'istante temporale  $t$  relativo ad uno strumento finanziario  $f$  ritenuto privo di rischio (in questo elaborato, esso corrisponde al *Treasury Bill* a 4 settimane),  $\sigma_t^d$  la deviazione standard delle differenze tra i rendimenti dello strumento finanziario  $i$  ed i rendimenti *risk free* (altrimenti detti rendimenti in eccesso) e  $T$  è il periodo temporale considerato per il calcolo di tale misura. Più

alto è il valore di tale misura, migliore risulta la performance storica dello strumento finanziario corretta per il rischio, rappresentato da  $\sigma_t^d$ .

L'indice di Sortino relativo ad uno strumento finanziario  $i$  nel periodo temporale  $T$  può essere espresso così:

$$\text{Sortino Ratio}_T^i = \frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_t^i - r_t^S)}{SDD}$$

dove  $r_t^i$  è il rendimento nell'istante temporale  $t$  relativo ad uno strumento finanziario  $i$ ,  $r_t^S$  è il rendimento del tasso soglia scelto, nell'istante temporale  $t$  e SDD è la deviazione *downside* rispetto al tasso soglia, definita dalla seguente formula:

$$SDD = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\min(0, r_t^i - r_t^S))^2}$$

ossia la radice quadrata della somma del minimo tra 0 e la differenza tra  $r_t^i$  e il  $r_t^S$  rilevata per ogni giorno  $t$ , e successivamente divisa per il numero di giorni  $T$ .

Per avvalorare ulteriormente le prestazioni di un ETF con indice *benchmark* il CRIX, sono stati costruiti quattro portafogli i quali, a seconda della strategia applicata, prevedono l'inserimento o meno al suo interno dell'ipotetico ETF unitamente alla possibilità o meno di compiere delle vendite allo scoperto. Nonostante le strategie diverse, tali portafogli sono costruiti seguendo l'approccio teorizzato da Markowitz, il quale prevede che un portafoglio efficiente possa essere costruito mediante due fasi. Nella prima si compone il portafoglio ottimo rischioso  $P$ , ossia quel portafoglio che, dati  $N$  diversi asset rischiosi, ha l'indice di Sharpe massimo. In formule, il problema di massimizzazione può essere espresso così:

$$\max_{w_i} \frac{E(R_P)}{\sigma_P} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i E(R_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j>1}^N w_i w_j \sigma_{ij}}}$$

$$s. t. \sum_{i=1}^N w_i = 1$$

dove  $E(R_P)$  è il rendimento atteso in eccesso del portafoglio ottimo rischioso  $P$ ,  $\sigma_P$  la sua deviazione standard,  $w_i$  è il peso dello strumento finanziario rischioso  $i$  all'interno del portafoglio,  $E(R_i)$  è il suo rendimento atteso in eccesso,  $\sigma_i^2$  è la sua varianza e  $\sigma_{ij}$  è la sua covarianza con lo strumento finanziario rischioso  $j$ . Per risolvere la seconda fase della costruzione del portafoglio ottimo completo, bisogna trovare quella combinazione tra portafoglio ottimo rischioso e bene privo di rischio che massimizza la funzione di utilità di un ipotetico investitore. Una funzione di utilità particolarmente diffusa nella teoria economica è data dalla seguente formula:

$$U = E(r_C) - \frac{1}{2} A \sigma_C^2$$



dove  $E(r_c)$  è il rendimento atteso del portafoglio completo,  $A$  è un indice di avversione al rischio dell'investitore, crescente all'aumentare di  $A$ , e  $\sigma_c^2$  è la varianza del portafoglio completo. Con questa funzione, si massimizza l'utilità di un investitore se

$$y^* = \frac{E(r_p) - r_f}{A\sigma_p^2}$$

dove  $y^*$  è il peso del portafoglio ottimo rischioso  $P$  all'interno del portafoglio ottimo completo  $C$ . Il peso del bene privo di rischio all'interno del portafoglio ottimo completo è dato da  $1 - y^*$ .

Per quantificare il rischio di mercato di uno strumento finanziario, ossia il rischio di conseguire delle perdite dovute alle variazioni del prezzo di tale titolo o della sua volatilità, si è fatto ricorso al *Value at Risk* (VaR) e alla *Expected Shortfall* (ES). Il VaR può essere definito come segue: dato un livello di confidenza  $\alpha \in (0,1)$  e un orizzonte temporale  $t$ , il VaR per una variabile casuale  $X$  (per esempio, il rendimento giornaliero di un *asset*) con una funzione di ripartizione  $F(x)$  è determinato come:

$$VaR_\alpha(X) = \inf\{x | F(x) \leq \alpha\}$$

dove *inf* rappresenta quel valore  $x$  della variabile  $X$  che è estremo inferiore, nel caso in cui la funzione di ripartizione  $F(x)$  assuma dei valori minori o uguali al livello di confidenza scelto  $\alpha$ . Esso può essere definito come il valore corrispondente alla massima perdita attesa in un periodo temporale  $t$  e con una probabilità  $1 - \alpha$ , dove  $\alpha$  è il livello di confidenza.

Invece, la ES può essere definita come segue: dato un livello di confidenza  $\alpha$  e un orizzonte temporale  $t$ , la ES per una variabile casuale  $X$  (per esempio, il rendimento giornaliero di un *asset*) con una funzione di ripartizione  $F(x)$  è determinata come:

$$ES_\alpha = E[X | X > VaR_\alpha(X)]$$

ossia, il valore atteso di  $X$  condizionato dall'evento " $X$  maggiore del VaR di  $X$ ". Fissato un periodo temporale  $t$  ed un livello di confidenza  $\alpha$ , la ES può essere definita come la perdita attesa condizionata all'essere nella coda  $(1 - \alpha)$  della funzione di densità di probabilità dei guadagni e delle perdite di uno strumento finanziario. In questo studio, per entrambe le misure è stato considerato un orizzonte temporale giornaliero e dei livelli di confidenza  $\alpha$  dello 0,01 e dello 0,05. Sia le stime dei VaR che delle ES sono state effettuate mediante la simulazione storica.

Al fine di misurare il rischio di liquidità nel mercato delle criptovalute (ossia la loro attitudine ad essere convertite in moneta legale il più rapidamente possibile ed a costi contenuti), una delle fonti del *tracking error* per un gestore di un ipotetico ETF in questo settore, si è fatto ricorso allo *spread bid-ask* in forma percentuale. Considerato un tempo  $t$ , lo *spread bid-ask* percentuale  $s$  relativo ad uno strumento finanziario  $i$  è dato dalla seguente formula:

$$s_t^i = \frac{\text{bid price}_t^i - \text{ask price}_t^i}{\text{ask price}_t^i}$$

dove  $bid\ price_t^i$  è il prezzo *bid* dello strumento finanziario  $i$  al tempo  $t$ , ossia il prezzo che un soggetto riceve dal *dealer* o dal *market maker* di un mercato come corrispettivo della vendita del bene  $i$  al tempo  $t$ . Invece,  $ask\ price_t^i$  è il prezzo *ask* dello strumento finanziario  $i$  al tempo  $t$ , ossia il prezzo che un soggetto paga al *dealer* o al *market maker* di un mercato come corrispettivo dell'acquisto del bene  $i$  al tempo  $t$ .

### CAPITOLO 3. Descrizione dei dati raccolti ed analisi empirica

I risultati ottenuti mostrano come un indice che adotta la stessa metodologia del CRIX può costituire il *benchmark* di un ipotetico ETF sulle monete cripto in quanto ben rappresentativo della direzione e dei valori assunti da tale mercato, come testimoniano gli ottimi valori di *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) e *Mean Directional Accuracy* (MDA). La prima tecnica statistica può essere definita dalla seguente formula:

$$MAPE\{CRIX(k)\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{TMI(k_{max})_t - CRIX(k)_t}{TMI(k_{max})_t} \right| \times 100$$

dove  $T$  è il numero di osservazioni delle serie storica dei due indici. Il MAPE è sempre maggiore o uguale a zero. Più alto è il suo valore, peggiore è la sua previsione.

La seconda tecnica utilizzata, la *Mean Directional Accuracy* è definita dalla seguente formula:

$$MDA\{CRIX(k)\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \mathbf{I}[\text{sign}\{TMI(k_{max})_t - TMI(k_{max})_{t-1}\} = \text{sign}\{CRIX(k)_t - CRIX(k)_{t-1}\}]$$

dove  $\mathbf{I}(\cdot)$  è la funzione indicatrice e  $\text{sign}(\cdot)$  è la funzione segno. La MDA serve per verificare possibili differenze tra i movimenti dell'indice CRIX e i movimenti dell'indice TMI. La MDA può assumere dei valori compresi tra 0 e 1. Più alto è tale numero, maggiormente accurata è la previsione, e quindi l'indice CRIX tende a seguire la stessa direzione dell'indice completo TMI. Dall'analisi effettuata è risultato che il *Mean Absolute Percentage Error* e la *Mean Direction Accuracy* dell'indice CRIX rispetto all'indice TMI sono rispettivamente l'1,379% e lo 0,9877. Il MAPE vicino a zero congiuntamente alla MDA prossima a 1 dimostra come l'indice CRIX riesca a seguire quasi fedelmente la direzione del mercato che tenta di rappresentare, sintetizzato dall'indice completo TMI. A maggior sostegno di quanto appena affermato, nella loro pubblicazione Trimborn e Härdle hanno calcolato la MDA dell'indice DAX30 e dell'IPC35 (il principale indice azionario del mercato messicano), ed in entrambi i casi hanno stimato dei valori minori di quello qui riportati per l'indice CRIX (rispettivamente 0,92 e 0,91).

Invece, confrontando i valori assunti dalle serie storiche dei CRIX e del TMI, si è notato come le differenze percentuali  $|df_t|$  in valore assoluto tra tali indici ( $|df_t| = \left| \frac{CRIX_t - TMI_t}{TMI_t} \right|$ ) sia contenuta, con un massimo periodale dell'8,174%: questo valore non è trascurabile (se l'indice TMI vale

10000, allora il CRIX vale 9182,60 oppure 10817,40), tuttavia è stato registrato nel pieno della bolla speculativa di fine 2017, e non costituisce un valore vicino la differenza media, pari al 1,379%. Anche gli altri valori assunti tra il novembre ed il dicembre del 2017 risultano lontani dalla media, inclusi in un intervallo tra il 5% e l'8% (si osservi la **figura 3.11**). Dal momento che, salvo qualche eccezione isolata, non sono stati rilevati dei valori di  $|df_t|$  al tempo stesso molto lontani dalla media e così vicini dal punto di vista temporale in tutta la serie storica considerata, si potrebbe ritenere che tali differenze siano più marcate in presenza di una bolla speculativa, con aumenti considerevoli in poco tempo del valore del mercato e successivo crollo verticale. Differenze che, considerato l'evento eccezionale, possono essere ritenute tollerabili. Per questo, il CRIX, anche per i valori assunti rispetto all'intero settore delle valute crypto, si comporta bene e potrebbe rappresentare un indice utilizzabile come *benchmark* da un ETF in questo settore.

Data	CRIX-TMI	TMI	dft	dft
01/11/2017	-1489,19	20306,18	-0,0733	0,0733
02/11/2017	-1711,17	20935,35	-0,0817	0,0817
03/11/2017	-1687,12	21600,55	-0,0781	0,0781
04/11/2017	-1764,33	21803,80	-0,0809	0,0809
05/11/2017	-1757,23	21830,87	-0,0805	0,0805
06/11/2017	-1537,57	21170,58	-0,0726	0,0726
07/11/2017	-1553,58	21474,76	-0,0723	0,0723
08/11/2017	-1440,10	22552,74	-0,0639	0,0639
09/11/2017	-1191,75	22322,14	-0,0534	0,0534
10/11/2017	-1334,20	21416,73	-0,0623	0,0623
11/11/2017	-1255,76	21907,99	-0,0573	0,0573
12/11/2017	-1089,04	21078,51	-0,0517	0,0517
13/11/2017	-1278,92	22357,67	-0,0572	0,0572
14/11/2017	-1214,57	22726,55	-0,0534	0,0534
15/11/2017	-1337,75	23977,26	-0,0558	0,0558
16/11/2017	-1474,26	24487,80	-0,0602	0,0602
17/11/2017	-1420,84	24812,92	-0,0573	0,0573
18/11/2017	-1375,09	25424,83	-0,0541	0,0541
19/11/2017	-1480,29	25805,90	-0,0574	0,0574
20/11/2017	-1528,70	26482,69	-0,0577	0,0577
21/11/2017	-1459,69	25995,40	-0,0562	0,0562
22/11/2017	-1429,85	27034,60	-0,0529	0,0529

**Figura 3.11.** Differenze in valore assoluto tra CRIX e TMI (divise per il TMI), nell'orizzonte temporale 01/11/2017-14/12/2017.

Trimestre	Numero membri CRIX
dic14-feb15	10
mar15-mag15	30
giu15-ago15	20
set15-nov15	45
dic15-feb16	25
mar16-mag16	55
giu16-ago16	40
set16-nov16	35
dic16-feb17	40
mar17-mag17	30
giu17-ago17	10
set17-nov17	5
dic17-feb18	40
mar18-mag18	20
giu18-ago18	15
set18-nov18	15

**Figura 3.6.** Numero dei componenti dell'indice CRIX in ogni trimestre considerato. Orizzonte temporale: 30/11/2014-29/11/2018

Dalla **figura 3.6** risulta che l'indice CRIX abbia avuto un numero contenuto di membri nel periodo temporale considerato, e la variabilità tra due trimestri consecutivi è stata contenuta. Quindi, un *fund manager* non dovrebbe avere difficoltà ad operare sui mercati finanziari per modificare la composizione dell'ETF sulle criptovalute sulla base delle variazioni apportate all'indice *benchmark*. Infatti, nell'orizzonte temporale considerato il numero massimo è stato 55, a fronte di oltre 2000 diverse monete crypto esistenti. Tale risultato assume ulteriormente significato se si tiene conto che alcuni tra gli ETF più scambiati al mondo tentano di replicare indici con un numero di membri molto più elevato al suo interno, come per esempio lo S&P 500 ed il Russell 2000. Inoltre, tra due trimestri consecutivi il numero di componenti non è variato eccessivamente: tale differenza si è attestata intorno ai 15-20 membri. La variazione più ampia (pari a 35) è avvenuta

durante la formazione della bolla speculativa di fine 2017. Dall'analisi svolta, essa potrebbe essere ritenuta eccezionale e legata a tale evento inusuale.

Inoltre, i risultati dell'analisi qui svolta mostrano come il CRIX sia sufficientemente diversificato al suo interno. Di conseguenza è possibile avere una migliore opportunità rischio-rendimento rispetto a quelle offerte dalle singole monete crypto mediante un ETF che tenta di replicare tale indice. Prima di tutto, si sono calcolati i rendimenti logaritmici su base giornaliera di nove valute crypto storicamente influenti nel settore in analisi. Successivamente, si è stimata l'eventuale presenza di correlazione tra tali monete crypto, mediante il test di correlazione di Pearson. Per avere un ulteriore riscontro, si è anche ricorso alla *Principal Component Analysis*.

I risultati mostrati nella **figura 3.12** sono in linea con quanto riscontrato da Elendner, Trimborn,

	Bitcoin	Ethereum	Ripple	Dash	Litecoin	Monero	NEM	Stellar	BitShares
Bitcoin	1,000								
Ethereum	0,362	1,000							
Ripple	0,291	0,210	1,000						
Dash	0,453	0,345	0,233	1,000					
Litecoin	0,603	0,348	0,350	0,428	1,000				
Monero	0,485	0,342	0,280	0,462	0,419	1,000			
NEM	0,381	0,251	0,289	0,327	0,380	0,297	1,000		
Stellar	0,354	0,236	0,544	0,280	0,376	0,373	0,385	1,000	
BitShares	0,415	0,371	0,445	0,370	0,418	0,368	0,359	0,517	1,000

**Figura 3.12.** Matrice di correlazioni tra le principali criptovalute. Orizzonte temporale: 08/08/2015-29/11/2018.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
Bitcoin	-0,173	0,115	0,021	0,132	0,020	0,074	-0,176	-0,218	0,925
Ethereum	-0,299	0,567	0,369	-0,540	-0,354	-0,181	0,051	0,022	-0,021
Ripple	-0,342	-0,484	0,149	-0,109	-0,452	0,614	0,155	0,093	0,020
Litecoin	-0,258	0,124	0,028	0,160	-0,007	0,218	-0,544	-0,647	-0,360
NEM	-0,417	0,173	-0,867	-0,145	-0,039	0,020	0,142	0,028	-0,027
Stellar	-0,439	-0,500	0,057	0,057	-0,133	-0,692	-0,226	0,055	-0,001
Dash	-0,238	0,256	0,062	0,306	0,092	0,189	-0,471	0,715	-0,060
BitShares	-0,422	-0,105	0,225	-0,268	0,797	0,123	0,191	-0,020	-0,028
Monero	-0,309	0,244	0,176	0,681	-0,080	-0,085	0,563	-0,102	-0,097
Deviazione standard	0,145	0,077	0,074	0,062	0,057	0,054	0,047	0,044	0,028
Proporzione della varianza spiegata	0,443	0,125	0,117	0,081	0,068	0,061	0,047	0,041	0,016
Proporzione cumulata	0,443	0,568	0,686	0,766	0,834	0,896	0,943	0,984	1,000

**Figura 3.13.** Analisi in componenti principali (PCA) di Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, NEM, Stellar, Dash, BitShares e Monero. Orizzonte temporale: 08/08/2015-29/11/2018.

*criptovalute* considerate nelle figure **3.14**. In ambito di VaR e ES, Bitcoin fa meglio del CRIX. Tuttavia, le differenze sono esigue, quindi si può essere soddisfatti del risultato ottenuto dall'indice. Nel complesso, il CRIX ha offerto delle opportunità rischio-rendimento più interessanti rispetto ad ogni singola moneta crypto.

Ong e Lee, i quali osservano come le monete crypto da loro prese in considerazione non siano fortemente correlate positivamente. Infatti, le criptovalute qui analizzate sono moderatamente correlate positivamente tra di loro. La PCA presentata nella **figura 3.13** corrobora quanto appena detto. Il numero elevato di componenti principali PC mostra come le monete crypto abbiano dei movimenti dei rendimenti tra loro distinti. Inoltre, la matrice di rotazione, ossia la parte superiore della **figura 3.13**, mostra che i rendimenti di ciascuna valuta sono adeguatamente spiegati da componenti diversi tra di loro.

In termini di prestazione aggiustata per il rischio, dallo studio effettuato l'indice CRIX ha ottenuto il valore più alto dell'indice di Sharpe, ed il secondo miglior valore dell'indice di Sortino, rispetto alle

	CRIX	Bitcoin	Ethereum	Ripple	Litecoin	NEM	Stellar	Dash	BitShares	Monero
Media	0,0024	0,0023	0,0031	0,0032	0,0017	0,0052	0,0035	0,0028	0,0020	0,0036
Errore standard	0,0011	0,0011	0,0023	0,0022	0,0016	0,0026	0,0024	0,0017	0,0023	0,0020
1° quartile	-0,0101	-0,0100	-0,0268	-0,0215	-0,0172	-0,0358	-0,0320	-0,0255	-0,0330	-0,0284
Mediana	0,0029	0,0026	-0,0013	-0,0035	-0,0002	-0,0011	-0,0037	-0,0015	-0,0018	-0,0007
3° quartile	0,0187	0,0178	0,0312	0,0186	0,0171	0,0389	0,0304	0,0295	0,0307	0,0365
Moda	#N/D	0,0000	0,0000	-0,0106	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Deviazione standard	0,0397	0,0400	0,0783	0,0763	0,0573	0,0900	0,0843	0,0597	0,0807	0,0711
Varianza campionaria	0,0016	0,0016	0,0061	0,0058	0,0033	0,0081	0,0071	0,0036	0,0065	0,0051
Curtosi	4,8670	4,9269	65,6525	38,5268	13,0784	16,8813	15,3667	6,1285	6,9982	7,4772
Asimmetria	-0,7630	-0,2831	-3,4612	2,9965	1,2912	1,9646	2,0370	0,8622	0,8510	1,0212
Intervallo	0,4083	0,4326	1,7144	1,6436	0,9055	1,3570	1,0895	0,6810	0,9117	0,8778
Minimo	-0,2332	-0,2075	-1,3021	-0,6163	-0,3952	-0,3615	-0,3664	-0,2432	-0,3917	-0,2932
Massimo	0,1751	0,2251	0,4123	1,0274	0,5103	0,9956	0,7231	0,4377	0,5200	0,5846
Test di Jarque-Bera	1299,11	1227,44	217895,50	76004,72	8881,33	15017,33	12634,10	2024,49	2591,00	3001,56
Somma	2,9342	2,7282	3,7479	3,8408	2,0830	6,3038	4,2177	3,3895	2,3995	4,4122
Conteggio	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210
Sharpe Ratio	0,0605	0,0559	0,0393	0,0413	0,0297	0,0577	0,0411	0,0466	0,0243	0,0510
Sortino Ratio (t. soglia = 0)	0,0836	0,0798	0,0539	0,0751	0,0481	0,0995	0,0714	0,0748	0,0383	0,0821
Sortino Ratio (t. soglia = risk free)	0,0828	0,0790	0,0535	0,0746	0,0475	0,0991	0,0710	0,0742	0,0379	0,0817
VaR ( $\alpha = 0,05$ )	0,0648	0,0666	0,0952	0,0829	0,0811	0,1209	0,1080	0,0818	0,1147	0,1108
ES ( $\alpha = 0,05$ )	0,1051	0,1011	0,1685	0,1407	0,1223	0,1712	0,1661	0,1258	0,1751	0,1475
VaR ( $\alpha = 0,01$ )	0,1218	0,1160	0,1786	0,1564	0,1414	0,2071	0,1969	0,1474	0,2080	0,1805
ES ( $\alpha = 0,01$ )	0,1596	0,1522	0,3202	0,2457	0,1891	0,2661	0,2576	0,1934	0,2720	0,2155

Figura 3.14. Tabella riepilogativa di CRIX, Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, NEM, Stellar, Dash, BitShares e Monero. Orizzonte temporale: 08/08/2015-29/11/2018.

Un altro risultato emerso dallo studio qui effettuato è come l'indice CRIX, in veste di *benchmark* di un ETF, sia in grado di diversificare in maniera adeguata dei portafogli titoli contenenti *asset* come titoli azionari, obbligazionari, *commodity* e proprietà immobiliari e di offrire delle prestazioni tali da risultare interessante per un ipotetico investitore. Infatti, la **figura 3.15** mostra le correlazioni di Pearson tra il CRIX ed i principali *asset* finanziari ed indici di mercato. Come si può osservare, l'indice CRIX non è correlato linearmente né con i principali mercati azionari globali, né con il mercato delle *commodity* nel suo complesso, né con il *Treasury Bill* con scadenza 4 settimane e nemmeno con il settore immobiliare, rappresentato dal *MSCI US REIT Index*. Infatti, i valori del coefficiente di Pearson sono tutti prossimi a zero.

	CRIX (metodo 1)	CRIX (metodo 2)
Standard & Poor's 500 Index	0,070	0,067
Russell 2000 Index	0,062	0,058
Shanghai Stock Exchange Composite Index	-0,003	0,012
Nikkei 225 Index	-0,024	-0,040
EURO STOXX 50 Index	0,029	0,017
FTSE MIB Index	0,025	0,023
Deutsche Boerse AG German Stock Index	0,036	0,022
FTSE 100 Index	0,030	0,022
Goldman Sachs Commodity Index	0,025	0,022
Nymex WTI Crude Oil Future	0,009	0,003
ICE Brent Crude Oil Future	0,021	0,016
Tasso di cambio spot oro-dollaro USA	0,004	0,031
T-Bill scadenza 4 settimane	-0,044	-0,035
MSCI US REIT Index	0,016	0,017

Figura 3.15. Correlazioni tra i rendimenti logaritmici giornalieri dell'indice CRIX e dei principali asset ed indici finanziari. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018. Nel metodo 1 si sono eliminati i valori del CRIX registrati di sabato e domenica, e si sono calcolati il rendimento nella di lunedì come la differenza tra il logaritmo del prezzo registrato nello scorso venerdì ed il logaritmo del prezzo registrato nel lunedì considerato. Nel metodo 2 si sono calcolati i rendimenti del CRIX per tutti i giorni disponibili, e successivamente si sono eliminati i rendimenti del CRIX relativi al weekend.

Inoltre, l'indice CRIX ha offerto una ottima prestazione nel periodo temporale considerato, risultando il migliore tra gli indici di mercato e gli strumenti finanziari globali considerati in termini sia di *Sharpe Ratio* che di *Sortino Ratio*, come si può vedere nella **figura 3.17**.

	Sharpe Ratio	Sortino Ratio (tasso soglia = 0)	Sortino Ratio (tasso soglia = risk free)
CRIX	0,0437	0,0596	0,0590
Standard & Poor's 500 Index	0,0340	0,0503	0,0092
Russel 2000 Index	0,0354	0,0521	0,0118
Shanghai Stock Exchange Composite Index	0,0116	0,0167	0,0062
Nikkei 225 Index	0,0073	0,0121	0,0031
EURO STOXX 50 Index	-0,0025	-0,0010	-0,0009
FTSE MIB Index	0,0037	0,0070	0,0018
Deutsche Boerse AG German Stock Index	0,0156	0,0242	0,0060
FTSE 100 Index	0,0082	0,0145	0,0024
S&P GSCI Index	-0,0020	-0,0007	-0,0009
Nymex WTI Crude Oil Future	0,0084	0,0134	0,0075
ICE Brent Crude Oil Future	0,0029	0,0055	0,0023
Tasso di cambio spot oro-dollaro USA	0,0087	0,0163	0,0025
MSCI US REIT Index	0,0087	0,0146	0,0030

**Figura 3.17.** Indice di Sharpe e indice di Sortino (quest'ultimo calcolato con due diversi tassi soglia), del CRIX e dei principali asset finanziari di investimento. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

Quindi, si può concludere che il CRIX vede il suo rischio, espresso in termini di deviazione standard, maggiormente remunerato in termini di rendimento medio. Inoltre, l'indice CRIX vede il suo rischio, espresso come volatilità nei rendimenti inferiori al tasso soglia prefissato, maggiormente ricompensato in termini di rendimento medio in eccesso da tale tasso soglia, sia se quest'ultimo è pari a zero, sia se è pari al rendimento medio del *Treasury Bill* a 4 settimane.

Per avvalorare ulteriormente le ottime prestazioni di un ETF con indice *benchmark* il CRIX, sono stati costruiti quattro portafogli i quali, a seconda della strategia applicata, prevedono l'inserimento o meno al suo interno dell'ipotetico ETF unitamente alla possibilità o meno di compiere delle vendite allo scoperto. Nonostante le strategie diverse, tali portafogli sono costruiti seguendo l'approccio teorizzato da Markowitz.

	Rendimento atteso	Deviazione standard	Sharpe Ratio
Portafoglio ottimo rischioso no short e senza CRIX	0,00026	0,00624	0,03918
Portafoglio ottimo rischioso no short e con il CRIX	0,00049	0,00828	0,05676
Portafoglio ottimo rischioso senza CRIX	0,00526	0,05887	0,08902
Portafoglio ottimo rischioso con il CRIX	0,00365	0,03700	0,09808

**Figura 3.18.** Rendimento atteso, deviazione standard e indice di Sharpe di quattro diversi portafogli rischiosi ottimi, secondo il modello di selezione di Markowitz. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

A=2 (indice di avversione al rischio dell'investitore)				
	Rendimento atteso	Deviazione standard	Quota asset privo di rischio	Quota portafoglio ottimo rischioso
Portafoglio ottimo completo no short e senza CRIX	0,00079	0,01959	-214,13 %	314,13 %
Portafoglio ottimo completo no short e con CRIX	0,00163	0,02838	-242,81 %	342,81 %
Portafoglio ottimo completo si short e senza CRIX	0,00398	0,04451	24,40 %	75,60 %
Portafoglio ottimo completo si short e con CRIX	0,00483	0,04904	-32,54 %	132,54 %

**Figura 3.19.** Rendimento atteso, deviazione standard e pesi del bene privo di rischio e del portafoglio ottimo rischioso di quattro diversi portafogli ottimi completi, secondo il modello di selezione di Markowitz e con  $A = 2$ . Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

A=4 (indice di avversione al rischio dell'investitore)				
	Rendimento atteso	Deviazione standard	Quota asset privo di rischio	Quota portafoglio ottimo rischioso
Portafoglio ottimo completo no short e senza CRIX	0,00040	0,00979	-57,07 %	157,07 %
Portafoglio ottimo completo no short e con CRIX	0,00082	0,01419	-71,41 %	171,41 %
Portafoglio ottimo completo sì short e senza CRIX	0,00200	0,02225	62,20 %	37,80 %
Portafoglio ottimo completo sì short e con CRIX	0,00242	0,02452	33,73 %	66,27%

**Figura 3.20.** Rendimento atteso, deviazione standard e pesi del bene privo di rischio e del portafoglio ottimo rischioso di quattro diversi portafogli ottimi completi, secondo il modello di selezione di Markowitz e con  $A = 4$ . Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018

Come si può notare dalle **figure 3.18, 3.19 e 3.20**, l'inserimento del CRIX nel portafoglio ottimo incrementa lo *Sharpe ratio* per entrambe le strategie di investimento. Infine, l'inserimento dell'ETF sulle valute crypto nel portafoglio ottimo rischioso di Markowitz incrementa la quota del portafoglio ottimo completo dedicata ai beni rischiosi per entrambe le strategie di investimento, dimostrando ulteriormente le sue qualità in termini di rendimento aggiustato per il rischio e di diversificazione.

Tuttavia, tale ETF presenterebbe anche degli aspetti negativi, che non possono essere sottovalutati. Infatti, dall'analisi svolta è stato riscontrato, come si può vedere nella **figura 3.16**, che l'indice CRIX ha dei *Value at Risk* ed *Expected Shortfall* molto più elevati rispetto alle classi d'investimento tradizionali. Ciò si traduce in una potenziale perdita giornaliera considerevole, nel caso di un investimento effettuato nell'ETF sulle criptovalute. Di conseguenza, tale ETF non potrebbe essere un investimento idoneo per un individuo che non può sostenere possibili perdite rilevanti, come il 10-15% del proprio capitale.

	CRIX	SPX	RTY	SHCOMP	NKY	SX5E	FTSEMIB	DAX	UKX	SPGSCI	CL1	CO1	XAU Curncy	T-Bill 4 set	RMZ
VaR ( $\alpha=0,05$ )	0,0614	0,0142	0,0168	0,0249	0,0210	0,0186	0,0238	0,0190	0,0143	0,0211	0,0400	0,0369	0,0127	0,0000	0,0169
ES ( $\alpha=0,05$ )	0,1189	0,0208	0,0234	0,0444	0,0322	0,0270	0,0332	0,0269	0,0211	0,0277	0,0527	0,0494	0,0171	0,0000	0,0227
VaR ( $\alpha=0,01$ )	0,1044	0,0248	0,0283	0,0641	0,0379	0,0316	0,0356	0,0301	0,0248	0,0313	0,0578	0,0601	0,0197	0,0000	0,0267
ES ( $\alpha=0,01$ )	0,1640	0,0323	0,0331	0,0722	0,0483	0,0417	0,0536	0,0387	0,0299	0,0388	0,0688	0,0679	0,0247	0,0000	0,0320

**Figura 3.16.** VaR ed ES del CRIX e dei principali indici ed asset finanziari di investimento. Orizzonte temporale: 01/12/2014-29/11/2018. SPX = Standard & Poor's 500 Index; RTY = Russel 2000 Index; SHCOMP = Shanghai Stock Exchange Composite Index; NKY = Nikkei 225 Index; SX5E = EURO STOXX 50 Index; FTSEMIB = FTSE MIB Index; DAX = Deutsche Boerse AG German Stock Index; UKX = FTSE 100; SPGSCI = S&P GSCI Index; CL1 = Nymex WTI Crude Oil Future; CO1 = ICE Brent Crude Oil Future; XAU Curncy = Tasso di cambio spot oro-dollaro USA; T-Bill 4 set = Treasury Bill con scadenza 4 settimane; RMZ = MSCI US REIT Index.

In aggiunta, vi è un fattore molto importante da tenere in considerazione: la modesta liquidità di tale mercato, come si può osservare dalla **figura 3.21**. Dal momento che per essa si intende l'attitudine, per uno strumento finanziario, ad essere convertito in moneta legale rapidamente e a costi contenuti, una sua bassa liquidità riduce l'efficienza economica della conversione in moneta legale dello stesso, con la conseguenza che il *fund manager* deve accettare di pagare un prezzo più elevato rispetto al suo reale valore per acquistare tale bene e di ricevere un prezzo più basso rispetto al suo reale valore per vendere tale bene. Questa situazione potrebbe implicare un *tracking error*

non trascurabile: il *fund manager* troverebbe delle difficoltà nel tentare di replicare l'indice CRIX, causando delle differenze tra i rendimenti ottenuti dall'indice ed i rendimenti ottenuti dall'ETF rilevanti, portando a dei profitti e delle perdite non previste ed una maggiore instabilità dei rendimenti dello strumento finanziario rispetto al suo indice *benchmark*. Al tempo stesso, tale ETF potrebbe non essere un buon prodotto finanziario per coloro che prediligono degli investimenti a breve termine, dal momento che, secondo Agarwal, Hanouna, Moussawi e Stahel (“*Do ETFs increase the commonality in liquidity of underlying stocks?*”) la liquidità dell'ETF stesso e dei beni sottostanti si muove nella stessa direzione.

	E(r) prezzi di chiusura	Err. St.	E(r) prezzi bid-ask	Err. St.	Spread bid-ask medio	Vol. storica	Cap. mercato media	Vol. medio giorn.
Bitcoin	-0,520%	0,00320	-0,560%	0,00321	<b>0,040%</b>	3,938%	\$116.902.636.567	\$4.875.083.093
Ethereum	<b>-1,179%</b>	0,00468	<b>-1,286%</b>	0,00467	<b>0,107%</b>	5,749%	\$37.227.515.712	\$1.920.922.115
Ethereum Classic	-0,978%	0,00502	<b>-1,112%</b>	0,00502	<b>0,134%</b>	6,163%	\$1.375.265.820	\$216.860.602
Litecoin	<b>-1,004%</b>	0,00419	<b>-1,146%</b>	0,00419	<b>0,143%</b>	5,145%	\$4.424.504.246	\$342.177.398
Ripple	-0,548%	0,00526	-0,699%	0,00526	<b>0,151%</b>	6,465%	\$19.070.797.271	\$478.720.600
EOS	<b>-1,228%</b>	0,00549	<b>-1,408%</b>	0,00549	<b>0,179%</b>	6,745%	\$6.899.462.652	\$871.312.641
Monero	-0,937%	0,00495	<b>-1,205%</b>	0,00498	<b>0,267%</b>	6,085%	\$2.033.861.072	\$33.478.805
Bitcoin Cash	<b>-1,394%</b>	0,00577	<b>-1,681%</b>	0,00581	<b>0,285%</b>	7,090%	\$12.030.637.128	\$514.681.818
Zcash	-0,791%	0,00563	<b>-1,167%</b>	0,00563	<b>0,375%</b>	6,923%	\$755.073.799	\$104.378.648
Dash	<b>-1,067%</b>	0,00494	<b>-1,549%</b>	0,00494	<b>0,479%</b>	6,066%	\$1.834.749.061	\$165.362.766
iShares Russell 2000 ETF	-0,012%	0,00078	-0,013%	0,00078	0,001%	0,962%	\$45.687.800.000	\$3.177.265.260

**Figura 3.21.** Rendimento atteso con i prezzi di chiusura, con i prezzi bid-ask, spread bid-ask medio, volatilità storica, capitalizzazione di mercato medio e volume medio giornaliero in dollari statunitensi di Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin, EOS, Ethereum Classic, Monero, Bitcoin Cash, Zcash, Dash e iShares Russell 2000 ETF. Orizzonte temporale: 03/05/2018-29/11/2018.

Come si può notare dalla **figura 3.21**, l'estensione degli *spread bid-ask* delle criptovalute, anche tenuto conto della volatilità ad essi associata, è sintomo di una liquidità certamente minore rispetto agli ETF più scambiati nei mercati globali, ma al tempo stesso di una liquidità non elevata in senso assoluto. Ciò è ben visibile se si confrontano tali spread con i rispettivi rendimenti generati dai prezzi *bid* e *ask*, in modo da avere un'idea dell'impatto dei primi sui secondi. Infatti, ad eccezione del Bitcoin, gli *spread* calcolati hanno un peso molto influente nel rispettivo tipo di rendimento considerato, il quale incorpora al suo interno proprio tali differenziali, costituendo così un costo di transazione implicito per l'investitore non trascurabile.

Comunque sia, l'attuale esistenza di diversi ETF in settori sottostanti dichiaratamente poco liquidi, come il Vanguard U.S. Liquidity Factor ETF, porterebbe a ritenere che, sulla base dello studio qui svolto e delle considerazioni sopra effettuate, la possibile implementazione di un *exchange-traded fund* sul mercato delle criptovalute non dovrebbe essere una questione di *se*, ma solamente di *quando*.