

LUISS



Laurea in Economia e Management

Dipartimento di Impresa e Management

Cattedra di Financial Market Analysis

Efficienza dei Mercati e Analisi dell'Informazione: il Ruolo di Entropia, Irrazionalità e Caso

Prof. Nicola Borri

RELATORE

Valerio Ferraro

CANDIDATO

Anno Accademico 2022/2023

I can calculate the motion of heavenly bodies, but not the madness of people.

Isaac Newton

Indice

| | |
|--|----|
| Capitolo I Il Mercato | 5 |
| i. Struttura, Prezzo e Informazione..... | 5 |
| ii. Efficienza di Mercato | 9 |
| iii. Razionalità e Forme di Efficienza | 12 |
| iv. Informazione e Paradossi | 14 |
| v. Entropia | 20 |
| vi. Riepilogo su informazione ed efficienza..... | 27 |
| | |
| Capitolo II L’Imprevedibilità | 29 |
| i. Il Dilemma dell’Intuizione..... | 29 |
| ii. Stocasticità Illusoria tra Caos e Caso | 32 |
| iii. Dinamica Complessa e Mercato Frattale..... | 35 |
| iv. Ordine Emergente: Tasche di Prevedibilità..... | 41 |
| v. Disordine Emergente: Entropia ed Efficienza | 45 |
| vi. Voli di Lévy..... | 47 |
| vii. Basi Probabilistiche del Random Walk e dell’Autocorrelazione | 48 |
| viii. Analisi Empirica | 51 |
| | |
| Capitolo III L’Irrazionalità | 60 |
| i. Il Gioco dell’Incertezza..... | 60 |
| ii. Razionalità Limitata | 62 |
| iii. Allucinazioni e Pattern | 65 |
| iv. Autodistruzione delle Anomalie e Bolle Speculative..... | 68 |

| | | |
|---------------------------|--|-----------|
| v. | L'impatto dell'Irrazionalità: Teoria della Riflessività..... | 70 |
| vi. | Psicologia di Massa: Suggestione e Anonimità..... | 73 |
| vii. | Stato Attuale dell'Efficienza e Mercato Intelligente | 77 |
| Conclusione | | 79 |
| Bibliografia | | 80 |
| Appendice | | 87 |
| i. | Tabelle..... | 87 |
| ii. | Codice R Studio..... | 88 |

Capitolo I

Il Mercato

i. Struttura, Prezzo e Informazione

Nell'era dell'informazione, c'è un campo che spicca per il volume di dati giornalmente prodotti e raccolti, e si tratta della Finanza. La meticolosa registrazione di ogni transazione consente uno studio capillare delle strane dinamiche che caratterizzano la speculazione e il mercato. L'accumulazione esponenziale dei dati non è solo effetto del progresso tecnologico, ma anche della crescita del sistema finanziario in sé. Tuttavia, si tratta di una fonte di dati miracolosa quanto deludente, poiché i risultati di modelli e previsioni hanno poche parole da spendere prima che i disastri economici avvengano. Evidentemente, l'avanzamento non si osserva solo nel dettaglio della lente con cui osserviamo i fenomeni, ma anche nella complessità intrinseca al sistema di mercato, nella stratificazione del processo di scambio, nell'avvento di dinamiche più interconnesse e caotiche. È l'orizzonte da cui emergono conseguenze frequenti ma imprevedibili, appunto le crisi e le bolle speculative.

La seguente analisi si propone come descrizione di alcuni fattori di particolare rilevanza nel determinare queste dinamiche. Primo tra questi è l'imprevedibilità, ovvero il caso e la complessità dei mercati finanziari. Altro elemento è la psicologia degli agenti, gli investitori, che sono atomi in questa struttura sociale, il cui comportamento, a tratti profondamente irrazionale, emerge come causa precipua dell'incertezza e del disordine endemici del mercato. Verrà poi introdotta una nuova forma per esprimere l'effetto dell'entropia sull'informazione nei mercati finanziari, il cui ruolo si dimostrerà armonizzante e rovinoso allo stesso tempo. Gli elementi qui proposti ambiscono al fine di approfondire il contenuto della nota Ipotesi dei Mercati Efficienti.

La prima descrizione del mercato cade nel contesto dello scambio, perché infatti è il luogo che lo stimola, è dove le necessità si estinguono o si traslano nel tempo, ed in

cui la ricchezza si trasporta e si trasforma. È un dove, oramai dematerializzato, che indica un terreno astratto e dinamico sul quale germinano le interazioni tra compratori e venditori che danno vita all'economia moderna. È perciò un perfetto campo da gioco su cui analizzare il comportamento degli individui poiché sono loro stessi a tessere la trama del sistema. Una trama peraltro instabile vista la presenza in numero variabile di individui razionali ed irrazionali; due persone però non sono un mercato, per fare un mercato serve una folla. Il sistema è dunque reso vivo da un gran numero di costituenti che interagiscono e perciò esibisce in diverse modalità le cosiddette proprietà emergenti. Queste sono manifestazioni sovrastrutturali delle interazioni, tra le tante, ad esempio, il meccanismo che permette di assegnare un valore quasi oggettivo agli asset quotati. È una proprietà che si manifesta solo laddove esiste un numero consistente di agenti e di scambi, che favoriscono l'aggregazione di percezioni, opinioni e poi valutazioni. È una condizione nevralgica che consente la formazione dei prezzi, che è la sostanza conduttrice dello scambio, nonché espressione ed estensione numerica del pensiero economico. Sarà oggetto di discussione quanto questi prezzi siano oggettivi e razionali.

Chi opera in un sistema del genere lo fa per un fine economico, l'obiettivo ultimo è senza dubbio il profitto. Gli elementi meno chiari sono piuttosto le motivazioni dietro la ricerca del profitto e le forze interne che spingono all'accettazione di un dato prezzo per vendere o comprare. Quindi, l'evoluzione del meccanismo su cui si basa la formazione del prezzo ha dei reagenti essenzialmente ignoti, cioè i desideri dell'uomo che emergono in un ambiente altamente mutevole. Di conseguenza, le situazioni che producono scambio si ripeteranno in modo sempre diverso, ed ogni transazione futura sarà nuova rispetto alla precedente ed il prezzo assorbe queste differenze. Questa caratteristica di informazione aggiuntiva (ed imprevedibile) racchiuso nell'indeterminabilità di quali scambi verranno effettuati in un istante successivo di tempo, fa da pietra angolare all'intera struttura che regge il mercato finanziario.

Il mercato non è però un'entità monolitica, lo stesso termine abbraccia decine di industrie e migliaia di strumenti finanziari, ragion per cui in questa sede si insisterà sul solo mercato azionario, ovvero l'aggregato di compratori e venditori di titoli azionari di società quotate. La scelta di questo campione risiede nel fatto che il valore delle

aziende quotate è sensibile e variabile all'esposizione al pubblico di investitori, offrendo quindi ampio spazio d'analisi sul prezzo e sulle forze psicologiche che lo modellano.

Il sistema su descritto prosegue, il prezzo cambia e l'informazione si stratifica, ma la meccanica sottostante rimane invariata, ovvero il prezzo in un dato istante è una particella d'informazione. In questo contesto, si può affermare che anziché un parametro assoluto di valutazione dell'azienda, il prezzo è piuttosto una manifestazione dell'interazione di milioni di soggetti, nonché un riscontro numerico degli effetti che gli eventi hanno, in questo caso, sulle aziende quotate. Concretamente poi, il termine *informazione* circoscrive quel vasto insieme di fattori capaci di persuadere un movimento di un titolo azionario o di interi segmenti di mercato, ad esempio notizie e annunci su future operazioni aziendali, bilanci, relazioni sugli utili e dati macroeconomici generali, così come eventi di natura non strettamente economica come conflitti e calamità naturali. Ogni evento che accade ha un effetto *latente* sul prezzo ed il rilascio di questo potenziale dipende solo dalla moltitudine di agenti che operano sul mercato. Non è infatti sufficiente che l'evento particolare si verifichi affinché il prezzo ne rifletta il contenuto informativo; è infatti compito dell'investitore inoculare l'informazione nel mercato, e ciò avviene attraverso la ricerca e l'interpretazione delle notizie. Nel momento in cui accade un evento, l'agente economico, cioè l'investitore a caccia di profitto, fa da arbitro e da mediatore, ovvero incorpora la nuova informazione nel momento in cui offre un prezzo per la vendita o l'acquisto del titolo interessato. Questo prezzo è determinante poiché contiene sia l'interpretazione della notizia, di carattere strettamente personale, sia le aspettative che l'investitore ha formulato in merito a come anche gli altri investitori potrebbero reagire alla stessa notizia, e questo ragionamento combinato suscita l'essenziale diversità su cui si concentra lo scambio. Due controparti, con diverse visioni di un fenomeno, questa parte è vitale.

Quindi, si intuisce che il prezzo gioca più un ruolo di indicatore. Può essere percepito ed osservato come riflesso, ossia un veicolo informativo, poiché contenente la reazione del mercato agli eventi che accadono nel mondo. Il prezzo è cioè il condotto attraverso cui scorre il flusso di informazioni da investitori informati a investitori non

informati, è un canale di comunicazione e il mercato come sistema di formazione dei prezzi è anche il luogo in cui le diverse informazioni si coagulano. Il mercato esaspera questa caratteristica scontando e incorporando anche tutti i possibili eventi futuri, che si ritengono plausibilmente verificabili o meno, sottoforma di aspettative. L'informazione contenuta nel prezzo può essere sia dedotta secondo il sentimento del mercato prima che un evento accada, così come può essere nota perché l'evento si è già verificato. Quindi il prezzo del titolo nell'istante corrente è indicatore non tanto del valore intrinseco di un'azienda ma di come il valore inizialmente fissato cambi nel tempo e perché. Il prezzo attuale è dunque risultato di una serie di addendi: l'interazione umana, l'interpretazione dell'informazione quantitativa e qualitativa rilevante per l'azienda, bisogni e aspettative.

Appare evidente come i mercati finanziari si trasformino in una naturale arena in cui la competizione ruota proprio attorno al bene di maggior importanza, l'informazione. Se è l'uomo a dover acquisire l'informazione e forgiare un prezzo tramite l'interpretazione, è subito intuibile come il processo sia assoggettato ad una serie di fattori. Questa dipendenza del prezzo dal futuro è ciò che garantisce la ovvia imprevedibilità. Se non si è in grado di prevedere cosa accadrà domani, non si può prevedere il movimento del prezzo in reazione all'evento di domani, è una logica impermeabile alle sfumature. Ma questo vincolo temporale non è comunque sufficiente per inibire l'ambizione degli investitori perché, come già detto, il mercato si alimenta principalmente di aspettative sul domani. Da cui deriva la seconda variabile puramente psicologica, ovvero la perdurante e dominante tendenza dell'uomo a cercare di prevedere quel futuro. Un qualsiasi investitore indipendente, privo del potere mediatico di manipolare e dare direzione al mercato, e seppur dotato della massima razionalità permessa dalla teoria economica, appare comunque naturalmente incapace di prevedere cosa accadrà nel mondo e in che direzione si muoverà il mercato. Ma a causa della tendenza descritta, e della sopravvalutazione delle proprie capacità, l'investitore fa comunque delle previsioni. Inconsapevolmente però, attraverso tali previsioni, sta contribuendo ai movimenti del prezzo e alla loro *informatività*, ma ci sono distorsioni in questo processo, e a breve verranno spiegati. È così che

intervengono i due fattori, più volte citati fin qui, che, nel bene e nel male, danno struttura al mercato, ovvero imprevedibilità ed irrazionalità.

ii. Efficienza di Mercato

L'Efficienza di Mercato posa le sue fondamenta sul dualismo appena citato. Il caposaldo dell'ipotesi afferma che i prezzi nel mercato si aggiustano immediatamente e in modo *corretto* riflettendo pienamente tutta l'informazione disponibile¹. Assioma sul quale si erige l'idea che non è in alcun modo possibile battere il mercato² in modo sistematico; non esiste una strategia vincente nel lungo periodo, perché se anche esistesse, la notizia verrebbe appresa dal mercato spezzandone l'efficacia. È una fondamentale implicazione perché significa che nessuno potrà mai anticipare consapevolmente i movimenti e ottenere con costanza rendimenti superiori rispetto alla media sul mercato, ed è ciò che alimenta il dibattito sulla plausibilità dell'ipotesi. Perché non sono infrequenti i casi di *overperformance*, ma il dettaglio imprescindibile sta nella sistematicità dell'atto, le anomalie rimangono di taglio empirico, sono aneddoti. L'ipotesi è ragionata al netto della fortuna, o meglio del tempismo, che nel mercato è una variabile incredibilmente determinante che viene spesso surrogata vantando abilità personali. Il mercato è quindi generalmente imprevedibile, è un'argomentazione invulnerabile, poiché se fosse il caso opposto, ovvero se i rendimenti fossero prevedibili con costanza e regolarità, esisterebbero opportunità per generare profitti illimitati, qualcosa di economicamente impossibile. Quindi, l'informazione non è solo un elemento funzionale e spendibile dagli attori economici, ma è un elemento strutturante, che dà forma e sostegno al tessuto finanziario.

Formalmente si dice che un mercato è efficiente rispetto ad un dato set di informazioni disponibile, poniamo Ω_t , se non è possibile ottenere extra rendimenti a

¹ Malkiel, B. G. (1991). Efficient Market Hypothesis. In Palgrave Macmillan UK eBooks (pp. 211–218). https://doi.org/10.1007/978-1-349-21315-3_28

² Dall'inglese "Beat the market", espressione idiomatica utilizzata per definire l'ottenimento di una performance (rendimenti) superiore rispetto al mercato nel suo complesso, o contro un indice di riferimento (Benchmark), ad esempio l'S&P500.

partire dallo sfruttamento di quel set informativo, poiché appunto già pienamente incorporato nei prezzi correnti. Il mercato riflette l'informazione istantaneamente secondo un meccanismo di iniezione svolto dagli agenti che vi operano; questo è possibile grazie alla competizione che si crea per la ricerca di un guadagno derivante da ciò che non è ancora noto. Gli eventi che si presentano possono avere un impatto positivo o negativo sul prezzo, e questo impatto è funzione dell'interpretazione da parte degli investitori, che persuadono un movimento, e l'informazione viene incorporata nel momento in cui il prezzo effettua l'aggiustamento. Affinché un mercato sia efficiente è necessario quindi che sia imprevedibile e razionale nei prezzi, tale per cui nessun individuo possa arricchirsi più degli altri sfruttando lo stesso set di informazioni di dominio pubblico.

Una dibattuta derivazione dell'ipotesi è che un prezzo correttamente e pienamente formato per razionalità nell'interpretazione dovrebbe essere sempre prossimo ad un valore fondamentale, e cioè intrinseco o realmente rappresentativo di un titolo. È un'implicazione forte che vede il suo peggior punto interrogativo nell'analisi di cosa significhi "correttamente formato". È infatti difficile stabilire se l'aggiustamento dei prezzi in reazione alla nuova informazione sia mai effettivamente giusto perché è difficile determinare il reale valore sottostante al titolo, non esiste una pietra di paragone che sia stimata con oggettività. La realtà è troppo relativa, così come la percezione degli investitori di fronte alle notizie e all'informazione, e poiché ognuno vede il mondo attraverso occhi diversi, uno stesso fenomeno può presentare multidimensionalità. Così che la reazione del pubblico sarà dinamica e contrastante e il prezzo si muove tra l'agire di queste diverse forze d'interpretazione, che è ciò che è stato prima definito come diversità. Il problema non risiede poi tanto nel contrasto tra gli investitori, che è variabile fondamentale, ma piuttosto quando il disaccordo è sostituito dall'accordo, la coincidenza di interpretazione e la speculazione sul mercato non sono elementi compatibili. Questo perché le più acclamate anomalie dell'efficienza di mercato sorgono quando esistono sentimenti di mercato prevalenti, piuttosto che un *equilibrato* contrasto d'opinioni. La prevalenza di un dato sentimento, come ottimismo e pessimismo, è la causa alla base delle periodiche esplosioni che sconvolgono il mercato e i relativi modelli. Il modello funziona abbastanza bene in un

mercato stabile, il problema sorge nei momenti di crisi. Qui l'efficienza nel senso di *fair pricing* del mercato smette di funzionare, come le singolarità nelle leggi della fisica. L'ipotesi dei mercati efficienti nella sua formulazione originale tollera perciò l'esistenza di "sacche" di anomalie temporanee³, delle bolle d'aria nel tessuto finanziario su cui prezzi si formano, com'è evidente in Figura 1. Esiste cioè nel mercato, come in ogni ambito del mondo, il binomio inscindibile tra caos ed ordine, che si alternano incessantemente.

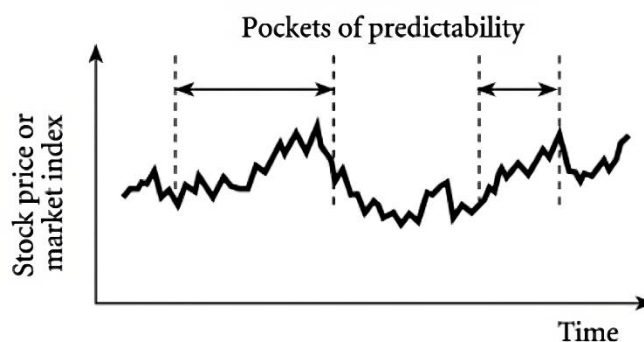


Figura 1: Negli intervalli contrassegnati si osservano tendenze più ordinate derivanti dalla prevalenza di un dato sentimento verso l'acquisto o la vendita del titolo⁴.

AmMESSO ciò, corretto rimane comunque l'aggiustamento più razionale possibile di fronte ad una interpretazione della realtà quanto più istantanea e onnicomprensiva possibile, tendendo verso un equilibrio privo di evidenti distorsioni. È cioè corretto quel movimento del prezzo che incorpora tutti i sentimenti del mercato derivanti dalla nuova informazione indipendentemente dalla loro corretta formazione, che è una condizione difficile da verificare. Ovvero, l'importante non è più la continua vicinanza al valore fondamentale, bensì l'istantaneità con cui il mercato recepisce tutte le informazioni del mondo per sostenere l'imprevedibilità.

³ Farmer, L. E., Schmidt, L., & Timmermann, A. (2019). Pockets of Predictability. Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3152386>

Matera, G. (2017). *Econofisica: la fisica che predice i mercati*. [Tesi di Laurea. Università di Bologna]. <https://amslaurea.unibo.it/14613/1/tesi.pdf>.

iii. Razionalità e Forme di Efficienza

L’Ipotesi dei Mercati Efficienti tiene in conto un fattore alquanto critico, e cioè la limitata razionalità umana. L’uomo non ha una capacità analitica perfetta, non è logicamente onnisciente e soprattutto è lento nell’aggiornare le proprie convinzioni a seguito dei cambiamenti dell’ambiente, o a volte la fretta con cui lo fa induce a sbagliare. La rapidità con cui l’informazione viene integrata nel mercato incontra delle resistenze, ed integrarla nella sua totalità è naturalmente impossibile. L’investitore, infatti, non valuta tutta l’informazione esistente al mondo prima di scambiare; ragion per cui si può reputare esagerato affermare che un prezzo possa contenere tutta l’informazione. L’Efficienza dei mercati si difende da questa limitazione presentandosi in tre diverse declinazioni (debole, semi-forte e forte)⁵ in base alla quantità di informazione racchiusa nei prezzi correnti e sull’ampiezza di Ω_t . Questo insieme si forma sulla profondità dell’analisi svolta dagli investitori prima di scambiare sul mercato; quindi, quanta più informazione viene accumulata da un individuo per basare il proprio scambio, quanto più l’insieme Ω_t acquisisce spessore.

L’efficienza in forma debole si basa sull’idea che i prezzi correnti riflettono tutta l’informazione derivante dall’andamento passato dei prezzi, dai volumi e serie storiche, cioè l’informazione passata è implicita nell’informazione attuale. Ne consegue che le serie storiche di un titolo non contengono alcuna informazione utile e nuova tale da poter predire o intuire futuri movimenti del prezzo del titolo, e non è possibile ottenere rendimenti superiori al mercato nel medio-lungo periodo con strategie d’investimento basate su dati storici, anche se rielaborati con metodi diversi. Altra implicazione è che i titoli azionari non aderiscono ad alcuna ciclicità prevedibile, non formano pattern⁶, né presentano dipendenze da valori precedenti, così che qualsivoglia movimento è determinato esclusivamente da informazione nuova e non estrapolabile dal passato. L’andamento del titolo non presenta autocorrelazione con

⁵ Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*, 25(2), 383. <https://doi.org/10.2307/2325486>

⁶ La parola inglese pattern è più significativa della traduzione italiana che suona “schema” o “configurazione”, verrà pertanto lasciata come tale da qui in avanti.

valori passati non c'è quindi spazio alla previsione su dati già esistenti. Un sistema che evolve in questo modo indeterminabile o imprevedibile può farlo solo se governato dal caso o dal caos. Seppur il mercato fosse piegato alle leggi del caos, agli occhi dell'investitore i movimenti di un titolo apparirebbero comunque aleatori ed imprevedibili a causa dell'eccessiva complessità. Per questo motivo, si dice che i prezzi seguono un andamento stocastico comunemente noto come random walk.

Il Random Walk descrive un moto casuale; in questo caso, i valori di un indice azionario sono caratterizzati da un andamento continuo, indipendente, privo di autocorrelazione e di bias. Pertanto, non esiste un centro di attrazione preferito ed ogni passo è casuale rispetto al precedente. Il meccanismo si basa sull'idea che il prezzo in un dato istante sarà pari al prezzo precedente più un fattore di shock o termine di errore, e si esprime come segue:

$$P_t = P_{t-1} + \mu_t$$

Il fattore aggiuntivo μ_t , in conformità all'efficienza informativa, dovrebbe incorporare tutta l'informazione *aggiuntiva* rilevante, che è la caratteristica della seconda forma di efficienza di mercato a breve descritta. Poiché il prezzo è il risultato e riflesso di un'infinita somma di eventi, è ragionevole affermare che non è possibile conoscere lo step successivo della serie, che potrebbe essere verso l'alto o verso il basso indiscriminatamente. Di conseguenza il prezzo aderisce alle regole di un gioco a somma zero, o rumore bianco, e la miglior previsione del prezzo futuro consiste nel prezzo attuale. Da qui deriva l'inutilità di prevedere un tale processo. Questo comportamento del prezzo è una diretta conseguenza della concorrenza tra gli investitori che si avventano anche sul più impercettibile vantaggio informativo, e così facendo incorporano l'informazione nel prezzo, eliminando l'opportunità di profitto che ha motivato la loro operazione⁷.

L'efficienza di mercato nella sua forma semi-forte sostiene quanto appena detto, ovvero che i prezzi correnti contengono tutta l'informazione disponibile

⁷ Lo, Andrew W., Efficient Markets Hypothesis. *THE NEW PALGRAVE: A DICTIONARY OF ECONOMICS*, L. Blume, S. Durlauf, eds., 2nd Edition, Palgrave Macmillan Ltd., 2007, SSRN: <https://ssrn.com/abstract=991509>

pubblicamente: la notizia è rilasciata, sfruttata dal mercato, digerita e dimenticata, diventando parte del passato. È in questa forma che si esprime la più immediata azione del tempo. Mentre nella forma debole il prezzo è coerente solamente col passato che è già pienamente riflesso, in questo caso il prezzo cambia in corrispondenza della nuova informazione con aggiustamenti rapidi e non distorti, in modo che non sia possibile ottenere rendimenti superiori anticipando l'informazione più rapidamente del mercato che, in toto, la incorpora già nel minor tempo possibile. Già da qui si evince il contrasto con l'utilità dell'analisi tecnica e fondamentale. Infatti, una meno immediata implicazione delle prime due forme di efficienza dei mercati è che gli investitori non possono ottenere risultati migliori rispetto a quelli che otterrebbero acquistando un fondo indicizzato contenente l'intera offerta d'azioni presente sul mercato, o almeno il maggior numero possibile. Una volta compreso di non poter ottenere informazione utile e scambiare su quell'informazione più in fretta del sistema, tanto vale evitare lo sforzo. L'intensissima concorrenza è la causa di tutto ciò, in quanto ha portato allo sviluppo di sistemi algoritmici che analizzano l'informazione tanto velocemente da non permettere all'individuo medio di competere.

La più ambiziosa declinazione di *Market Efficiency* è la forma forte, la quale sostiene che i prezzi di mercato sono essenzialmente onniscienti e riflettono tutta l'informazione esistente. L'efficienza in forma forte è sia comprensiva del set informativo di entrambe le precedenti forme sia di tutti gli eventi privati che possono influenzare l'andamento di mercato. Vale a dire che tutta l'informazione pubblica e l'informazione privilegiata normalmente disponibile solo agli individui interni alle società quotate vengono sono già riflesse nei prezzi correnti. L'insieme di informazioni Ω_t raggiunge la sua massima estensione.

iv. Informazione e Paradossi

È difficile immaginare come si possa ottenere una perfetta efficienza informativa, anche a causa di una serie di attriti che rallentano la trasmissione di informazione sul mercato. Il primo assunto ingannevole viene ad esempio proposto nei riguardi della

regolamentazione contro l'abuso di informazioni privilegiate e sull'insider trading, accusate di far perdere informatività al prezzo. Ci sono infatti pungenti argomentazioni a sostegno della legittimazione dell'insider trading a beneficio del rilascio di tali informazioni sul mercato⁸. Il che però non specifica fino a che punto renderebbe il mercato più efficiente, perché se da un lato l'efficienza informativa sarebbe superiore poiché l'informazione privata verrebbe inclusa nel prezzo, dall'altro verrebbe normalizzata l'abilità di prevedere, o conoscere in anticipo, il movimento del prezzo⁹, che è quanto di più contrario all'efficienza.

L'efficienza perfetta però, come idealizzata dalla letteratura finanziaria, rimarrà un'illusione finché il mercato sarà un'estensione di un uomo imperfetto. Ma si tratta di un modello, e come tutti i modelli si distingue per il moto approssimativo con cui si avvicina alla realtà. Ma la costruzione di ipotesi più semplici su un sistema così complesso permette comunque lo studio e la comprensione di come l'informazione si produce e si trasmette. Oltretutto, si presenta in veste normativa e non ambisce cioè ad una descrizione esatta del mercato. Questo carattere normativo si esprime in una serie di assunzioni sufficienti, quanto irrealistiche, affinché un mercato possa considerarsi efficiente dal punto di vista informativo. La prima consiste nell'assenza di costi di transazione, o che seppur presenti, siano abbastanza contenuti da non disincentivare lo scambio. C'è poi il presupposto che l'informazione sia disponibile senza costo a tutti i partecipanti del mercato e che questi concordino sulle implicazioni che le informazioni attuali hanno sul prezzo, cioè concordanza nell'interpretazione. Sono premesse sufficienti per un mercato efficiente ma non comunque necessarie. Si ritiene infatti che alcuni di questi presupposti debbano essere rilassati proprio in ragione del raggiungimento di una maggiore efficienza informativa. C'è infatti qualcosa di implausibile e quasi distopico nella perfetta efficienza informativa data dall'assenza di costi di transazione e da interpretazioni razionali ed omogenee. Su un tale scenario si

⁸ Matthews, D. (2013, July 26). Insider trading enriches and informs us and could prevent scandals. Legalize it. WashingtonPost.com.
<https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2013/07/26/insider-trading-makes-us-richer-better-informed-and-could-prevent-corporate-scandals-legalize-it/>

⁹ Se un insider di una società quotata fosse a conoscenza di una futura operazione e del suo impatto sul prezzo della società prima del pubblico potrebbe trarne vantaggio, reprimendo l'aleatorietà di mercato in quell'occasione.

posa l'ombra del paradosso formulato da Grossman e Stiglitz; questo afferma che in un mercato perfettamente efficiente dal punto di vista informativo gli investitori non avrebbero più alcun incentivo a ricercare l'informazione ed iniettarla nel mercato, con la conseguenza che non solo l'efficienza a monte verrebbe meno, ma nel peggiore dei casi perfino il mercato stesso cesserebbe di esistere. È una situazione inimmaginabile, perché secondo le assunzioni succitate più un mercato diventa efficiente e più in realtà diventa inefficiente. Per comprendere la situazione, è necessario immaginare che l'informazione pubblica non sia già connaturata nel sistema, ma che sia grezza, cioè che vada ricercata ed interpretata per poter essere poi sfruttata ai fini speculativi. Un prezzo è definito razionale quando si aggiusta pienamente raccogliendo tutti gli eventi rilevanti ed nel modo più equilibrato possibile. Ma è un processo che non avviene spontaneamente; il mercato non è un'entità superorganica, è una conseguenza dell'interazione umana, ed è in capo agli investitori l'onere di renderlo efficiente. Quindi dal momento in cui un evento accade fino al momento in cui il prezzo ne riflette il contenuto informativo, passa del tempo spaventosamente breve dato dal fatto che gli investitori stanno svolgendo il lavoro di interpretazione. Ciò significa in termini semplici che l'investitore singolo, e simultaneamente la massa di investitori, sta "giudicando" la positività o la negatività di un evento, e cioè come questo può influire nel prezzo del titolo. Una dinamica del genere però funziona solo nel momento in cui vi è un ritorno economico a bilanciare il consumo di risorse per la ricerca e la conversione delle notizie, ovvero i costi di transazione. Questo perché il costo d'accesso permette anche gli investitori non abbiano le stesse informazioni, dato che bisogna decidere con parsimonia quali vale la pena ricercare. La ricerca delle informazioni, quindi, deve avere un costo e quando il mercato è perfettamente informato e quel costo tende a zero, non vi sarà alcun beneficio per questa attività¹⁰. In altri termini: se in un sistema gli individui iniziano a credere che il mercato sia efficiente, qualunque sia il motivo di questa credenza, gli investitori non svolgeranno più attività di scambio informato ed il mercato non riceverà le informazioni, diventando inefficiente. È altresì una conseguenza analoga alla situazione in cui a tutti

¹⁰ Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980b). On the impossibility of informationally efficient markets. *The American Economic Review*, 70(3), 393–408. <https://doi.org/10.7916/d8765r99>

gli investitori del mercato vengono attribuite omogeneità nelle aspettative, razionalità e uguale avversità al rischio tali da far evitare la compravendita di titoli, limitandosi ad investire attraverso un fondo indicizzato. Friedman afferma che se tutti gli investitori fossero identici e investissero in fondi indicizzati, verrebbero meno lo scambio e i meccanismi che creano il prezzo dei titoli quotati sul mercato, nonché il flusso di capitali alle imprese; è il paradosso dell'indicizzazione¹¹. Ed il mercato è notoriamente esposto alla componente psicologica; se quindi abbastanza investitori credono che il mercato sia efficiente, non prevedibile e già pienamente *informato*, allora investiranno in un indice il più simile possibile all'intero mercato, con la conseguente alterazione del movente primordiale alla base dello scambio e cioè le differenti aspettative sul futuro.

Quindi affinché vi sia efficienza è paradossalmente necessario che il mercato esibisca inefficienze e imperfezioni tali da indurre gli investitori a ricercare il modo di guadagnare, compiendo quelle azioni necessarie affinché l'informazione venga convertita in prezzo. È quindi altresì indispensabile che vi sia una considerevole quantità di investitori irrazionali, cioè sempre alla ricerca di opportunità di investimento nascoste. Per cui, rimanendo in tema di paradossi, anche l'irrazionalità degli investitori rende razionale il prezzo, chiariamo: un prezzo è razionale quando riflette quantitativamente l'intera gamma informativa senza esagerate e percettibili distorsioni. Un prezzo razionale, o meglio corretto, è quello che assicura l'imprevedibilità; infatti, razionalità e prevedibilità sono concetti distinti. Teoricamente sia la razionalità umana che l'irrazionalità implicano comportamenti prevedibili¹², ma quando queste forze agiscono su una scala di milioni di individui, il potere predittivo viene meno. L'investitore irrazionale è quello che si ostina a ricercare opportunità di guadagno sfruttando l'informazione e che incontra ostacoli psicologici e comportamentali che comportano acquisti o vendite frettolose, cattive interpretazioni di notizie, e sottomissione a bias cognitivi. Questo crea la diversità intrinseca negli

¹¹ David Eagle & Arsen M. Djatej & Robert H.S. Sarikas & David Senteney, 2010. "The indexing paradox: be thankful for irrational analysts," *International Journal of Monetary Economics and Finance*, Inderscience Enterprises Ltd, vol. 3(4), pages 374-393.

¹² Ariely, D. (2010). *Predictably Irrational, Revised and Expanded Edition: The Hidden Forces That Shape Our Decisions*. Harper Collins.

investitori che poi scambiano, integrando nel prezzo tutto ciò che hanno appreso. L'imprevedibilità qui risiede nel fatto che non si può immaginare né quale informazione verrà rilasciata, né in che modo gli investitori la interpretano e né a quale prezzo scambieranno. È qui che nasce il nesso tra razionalità (o correttezza) nel prezzo ed imprevedibilità. Al contrario invece, il comportamento razionale, generalmente conduce a mercati meno stabili di quanto ci si possa immaginare. Perché l'irrazionalità dà origine a diverse interpretazioni, che si annullano a vicenda in diversi punti di scambio, la razionalità invece genera trend e distorsioni. Posto in altri termini, il mercato dev'essere (o anche creduto di essere) quel tanto inefficiente da stimolare la formazione dello scambio su informazioni nuova, ed è poi necessario che quell'informazione venga interpretata in modi diversi. Per far sì che ciò accada è fondamentale la presenza di incentivi alla ricerca di informazione e che questa abbia sia un costo di accesso che un potenziale rendimento. Secondo Stiglitz, se questo meccanismo prosegue, e tutti i trader diventano sempre più informati, da un lato non vi sarà più informazione remunerativa, ma dall'altro il mercato sarà efficiente. Chiaramente nella realtà l'informazione non è un insieme chiuso e limitato ma è aperto a nuovi elementi. Il set informativo dev'essere quindi tale da emettere informazione "sporca", rumorosa¹³, affinché gli agenti debbano distillarla e agire sulla base di quanto ricavato dalle loro analisi, che sia poi un'interpretazione erronea o meno non importa. Non è importante cioè che sia *oggettivamente corretta*, ma solamente che venga sfruttata rendendo agevole il processo di formazione dei prezzi tramite lo scambio. È infatti importante capire che se e solo se esiste una discrepanza di interpretazione sull'informazione esisterà un mercato basato su quell'informazione. Infatti, un mercato esiste nel momento in cui differiscono le aspettative, il grado di avversione al rischio e la dotazione iniziale di capitali¹⁴. La componente di aspettative sul futuro è particolarmente rilevante nel mercato dei derivati, delle opzioni, che esistono proprio per speculare o proteggere il capitale dalle fluttuazioni, se non esistessero le diverse prospettive sull'immediato andamento del titolo sottinteso dal contratto, l'intero

¹³ Traduzione del termine inglese "noisy"

¹⁴ Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980b). On the impossibility of informationally efficient markets. *The American Economic Review*, 70(3), 393–408. <https://doi.org/10.7916/d8765r99>

mercato di opzioni non esisterebbe. Il mercato azionario, dal canto suo, accoglie un diverso e più ampio spettro di intenzioni. Quindi, se tutti gli agenti nel mercato pensassero la stessa cosa sugli esiti di una situazione, ad esempio sullo sviluppo di un'azienda, o anche avessero le stesse caratteristiche mentali e patrimoniali, non esisterebbero i presupposti elementari per lo scambio. Per questa ragione, nel caso in cui tutti gli investitori sono precisamente informati su tutto e l'informazione è chiara, il mercato non esiste poiché nessuno trova con chi scambiare. Dunque, si può aggiungere chiarezza al pensiero di Stiglitz affermando che non è tanto l'informazione in sé a dover contenere del "rumore", una proprietà intrinseca affinché vi sia diversità, ma è il fatto stesso di ricevere informazioni diverse da diverse fonti che genera il rumore.

Concretamente, quando si parla di interpretazione si intende la ricezione di una notizia e la formulazione di ipotesi sulla reazione del mercato alla stessa notizia. È presente un retrogusto Keynesiano in questo; egli parlava del mercato come di un beauty contest, nel senso che aldilà del valore reale di un titolo, è altrettanto importante ciò che la folla pensa di quel titolo, perché è lì che si decreta il valore¹⁵. È in questa fase di comprensione non solo del fenomeno ma anche dell'effetto anticipato di quel fenomeno, che si crea il rumore nell'informazione. Il rumore influisce poi nel modo in cui le informazioni circolano, generando le differenti opinioni, poiché in presenza di razionalità pura e aspettative omogenee si osserva un non-mercato. Riassumendo: se tutti pensano che il mercato sia efficiente, questo non è né efficiente né un mercato. È così suffragata l'idea che l'informazione non può essere qualcosa di strettamente proprio del sistema, qualcosa che emerge di spontaneo; sono gli investitori attivi che incrementano il grado di comprensione degli eventi del mondo, traducendoli in termini economici, ovvero in un prezzo, rendendo valutabile il loro impatto finanziario affinché sia accessibile anche agli investitori passivi e non informati.

¹⁵ Keynes, J. M. (2018). *The General Theory of Employment, Interest, and Money*. Springer.

v. Entropia

Gli investitori veicolano le informazioni acquisite attraverso il prezzo, e la quantità di informazione sfruttata è un parametro per definire il grado d'efficienza del mercato, tra la forma debole e quella forte. È stato anche dimostrato che è fondamentale la presenza di un rumore che determini differenze di aspettative e bisogni affinché possano esistere scambio e mercato. L'obiettivo in seno a questa analisi è dare un nome a questo fattore, ovvero quello che in primis dà l'impulso alla diffusione dell'informazione e poi garantisce la diversità d'interpretazione tra investitori, l'archè dello scambio, ciò che Stiglitz chiama rumore, qui verrà chiamato entropia, ed avrà un ruolo abbastanza più significativo.

L'entropia è una misura di disordine crescente di un sistema, o posto più tecnicamente di dispersione casuale di energia¹⁶. L'incertezza nel mercato deriva dalla sua intrinseca imprevedibilità, ma anche dal grado di entropia presente. Cioè è quel fattore che indirettamente altera le intuizioni degli investitori da cui emerge il prezzo. Se l'entropia è elevata, diventa semplicemente impossibile prevedere quali azioni verranno intraprese dagli altri investitori sullo stesso set informativo, poiché la vasta mole di informazioni disponibili indebolisce la capacità d'analisi e la razionalità, dando forma a prezzi diversi per lo stesso asset. Ovvero a causa dell'entropia, si verifica la cascata di informazioni, la sovrapposizione di prospettive e aspettative, lo sviluppo di interpretazioni diverse.

L'entropia è un termine di derivazione termodinamica usato per spiegare la naturale tendenza di tutti i sistemi di evolvere verso una condizione di disordine superiore o di equilibrio. L'entropia non è una forza, ma è una descrizione statistica di un processo spontaneo ed inevitabile che ogni sistema deve attraversare. Spontaneo nel senso che la probabilità che l'entropia in uno stato successivo delle cose aumenti è infinitamente maggiore rispetto alla probabilità che questa si riduca. È infatti ciò che induce la particella di inchiostro a colorare l'intero recipiente d'acqua, o un gas in uno spazio, che spinge a diffondersi anziché rimanere concentrato nella piccola area

¹⁶ Baierlein, R. (1999). *Thermal Physics. Cambridge University Press.*

originale. Il processo è irreversibile e raggiunge un equilibrio nel momento in cui il fluido si stabilizza e non si disperde ulteriormente. Per inserire l'entropia nell'analisi dell'informazione nel mercato bisogna allontanarsi dalla sua volgare concezione di malattia strutturale che conduce al disordine e poi al collasso delle strutture naturali. Va piuttosto considerata in modo del tutto analogo all'esempio prima accennato. La particella di informazione viene rilasciata nel mercato, ad esempio un evento si verifica, e la diffusione e la propagazione della relativa informazione in direzione di ogni partecipante del mercato è in un certo senso spontanea, più probabile, tanto quanto lo è la dispersione dell'inchiostro. L'entropia si può quindi definire come quella forza che spinge alla diffusione e al riverbero dell'informazione verso ogni vertice di mercato, ovvero quell'impulso che rende l'informazione distribuita anziché concentrata. È quel carattere emergente del mercato che contrasta le asimmetrie informative, e si esprime in termini probabilistici poiché è più probabile che l'informazione trapeli, diventi virale, nota e diffusa piuttosto che rimanga compressa in capo a pochi partecipanti. È un meccanismo che deriva dalla partecipazione al mercato di moltissimi agenti, se il numero di partecipanti allo scambio fosse inferiore, l'entropia nel mercato osservato sarebbe inferiore. L'elemento mancante in questa lineare analogia è lo stadio d'equilibrio (come l'inchiostro ben mescolato) che il sistema dovrebbe raggiungere a causa dell'entropia. Nel mercato questo equilibrio, relativamente alla particella di informazione iniettata, è l'efficienza. Nel momento in cui una notizia o informazione non potrà in alcun modo contribuire alla formazione di un prezzo e al suo movimento, allora il sistema si sarà stabilizzato rispetto ad essa. Quando nessun investitore sfrutterà quell'informazione per scambiare, l'equilibrio sarà stato raggiunto. L'equilibrio è cioè la *Market Efficiency*, ovvero l'ultimo stadio raggiungibile da una notizia trasformata in informazione attraverso un prezzo. Il fenomeno è inarrestabile poiché l'afflusso informativo al mercato è reso perpetuo dagli eventi del mondo. La natura probabilistica di questo comportamento è ciò che si può considerare alla base della manifestazione di fasi ordinate del mercato, in cui cioè l'informazione è talmente chiara e rilevante da sincronizzare gli investitori; questo avviene quando l'evento che genera informazione è particolarmente rilevante, o in altri termini quando è imprevedibile. Di seguito un esempio per comprendere la relazione tra informazione, entropia ed imprevedibilità:

1. 000
2. 001001001001001001001001001001001001001001001001001
3. 01100101000111000101100110101001011010111

La prima stringa non comunica alcuna informazione, è ridondante e può essere semplificata. La seconda stringa, nonostante un più elevato contenuto informativo, presenta un pattern prevedibile, ovvero la ripetizione di 001. La stessa stringa potrebbe quindi essere espressa come “001 per 14 volte” in forma compressa. Di conseguenza, se anche la successione venisse scritta come 001001001 sarebbe comunque sufficiente per estrapolare un pattern, una regola, un ordine, e semplificarla. Se quindi una stringa, un codice, o qualsiasi altra espressione di informazione può essere ridotta e semplificata a causa della sua ridondanza, ovvero la ripetitività di caratteri si dice che ha un’entropia inferiore rispetto ad una serie casuale. Nella terza stringa non è possibile dedurre pattern e la sequenza non è riducibile, l’informazione è disordine. A causa di questo semplice disordine non è possibile prevedere elementi successivi della sequenza. Se partiamo da un segmento dei primi quattro numeri, 0100, è impossibile stabilire quale seguirà poiché non seguono uno schema definibile. È analogo al random walk, e più si aggiunge informazione e meno sarà ridondante, l’entropia è elevata e dunque la serie è imprevedibile, efficiente.

L’entropia in teoria dell’informazione è misura di sorpresa, minore è la probabilità di un evento e maggiore è l’apporto informativo. È un concetto rilevante perché generalmente minore è la probabilità di un evento nel mondo, e la finanza non fa da eccezione, maggiore sarà l’impatto che avrà. L’impatto di una notizia è poi funzione diretta e proporzionale della sua diffusione: più una notizia si diffonde e più elevata sarà la sua influenza. Quindi l’evento raro scaturlisce l’inserimento di ordini di mercato coerenti con la notizia, col sentimento derivante da quell’evento e l’entropia sarà maggiore poiché la notizia è virulenta, ed il mercato ne assorbe gli effetti. L’entropia agisce sull’inatteso spingendolo ad avere un effetto enorme. Questo aspetto quasi tangibile della propagazione di informazione è la condizione che dà armonia, poiché culmina, nell’efficienza della singola stringa di informazione, diffusa e sfruttata dai partecipanti al mercato. L’aspetto rovinoso, di cui è stata fatta menzione inizialmente, risiede nel fatto che l’informazione si propaga più in fretta quanto più destabilizzante

è la notizia. Significa che anche le notizie da panico, gonfie di sentimenti estremi, scandali e via dicendo si propagheranno addirittura più in fretta. Ha senso se pensato anche da una prospettiva diversa. La ricezione di un segnale avviene attraverso onde e diventa disturbata se ci sono diverse fonti a trasmettere; diventa difficile discernere un significato se le onde di trasmissione si sovrappongono tra di loro creando rumore. L'identica sensazione si può applicare al mercato in cui l'elevata entropia spinge alla diffusione di ogni particella di informazione che arriva in diversi punti del mercato; inevitabilmente ci saranno punti in questa rete che riceveranno diverse informazioni contemporaneamente e la loro visione delle cose sarà disturbata. Questo meccanismo scaturisce differenze di vario tipo nell'interpretazione e nello scambio poiché sarà pressoché eterogeneo il set informativo su cui gli agenti scambiano. In questa fase alloggia l'imprevedibilità del mercato provocata dall'entropia. Possiamo descrivere la propagazione dell'informazione nel mercato proprio sottoforma di onde, ed esattamente come queste, anche nel mercato l'informazione può essere soggetta all'interferenza. L'interferenza è dovuta alla sovrapposizione di diverse onde e può essere costruttiva quando l'intensità risultante è maggiore rispetto a quella di ogni singola intensità originaria, e distruttiva quando i flussi si annullano.

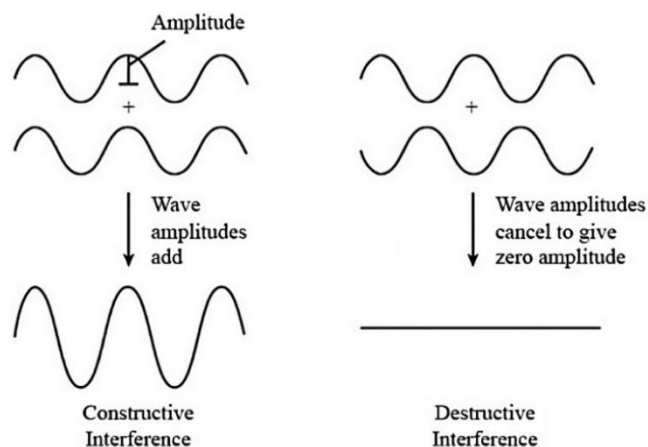


Figura 2: Onde ed interferenza costruttiva e distruttiva¹⁷.

¹⁷Constructive and Destructive Interference. Study.com. (n.d). <https://homework.study.com/explanation/explain-the-constructive-and-destructive-interference-of-waves-and-the-conditions-required-to-observe-a-two-source-interference-pattern.html>

Un fenomeno che ha rilevanza economico-finanziaria diventa una sorgente di onde di informazione e auspicabilmente la notizia verrà riportata da diverse fonti. Questo significa che lo stesso segnale si sovrapporrà creando una maggior risonanza. Qui si manifesta la conseguenza prima citata, lo scandalo o la notizia sul fallimento di una banca risuonano maggiormente. L'effetto che si osserva è che il rumore si riduce e la diversità degli investitori viene meno, l'omogeneità tra ordini di mercato prevale ed il mercato subisce oscillazioni più pronunciate. Al contrario, se uno stesso evento non fosse così rilevante potrebbe non essere l'unico ad essere ricevuto, le onde potrebbero sommarsi interferendo in senso negativo causando distorsione. La distorsione crea rumore e rende difficile decifrare l'informazione, o in altri termini, rende difficile intuire quale movimento il prezzo potrebbe realmente effettuare, attenuando le oscillazioni. In questi termini, in assenza di eventi "sistemici" è molto più probabile che il mercato segua un andamento neutro e non distorto poiché gli investitori inferiscono previsioni diverse tra loro.

Non ci siamo allontanati dal discorso sull'efficienza poiché questo ragionamento si può applicare alle serie storiche di un qualsiasi titolo di mercato. Questa efficienza si raggiunge grazie all'entropia che riverbera l'informazione. Questo causa l'espansione dell'insieme Ω_t che fa sì che l'evoluzione del prezzo risulti casuale. Una diversa, ma altrettanto utile, descrizione di entropia proviene da Claude Shannon, nel contesto della teoria dell'informazione e dei segnali e viene usata per quantificare l'incertezza presente in un messaggio. Significa che meno probabile un evento è, più elevata è l'informazione che apporta, e maggiore è la sua entropia. In altri termini, più un evento è inatteso e maggiore saranno le informazioni ricavabili da quell'evento qualora si verificasse. È come l'idea del Cigno Nero di Taleb, ovvero quell'evento la cui probabilità è estremamente sottovalutata e le cui conseguenze vanno oltre le previsioni. Questo evento raro è esule dalle normali¹⁸ aspettative, nel senso che nulla del passato può presagire o indicare che si verificherà¹⁹. Chiaramente, se molti

¹⁸ L'uso del termine "normale" è voluto in quanto si riferisce anche alla distribuzione di probabilità normale (Gaussiana).

¹⁹ Post, I. (2016). La teoria del cigno nero e tutti noi. *Il Post*. <https://www.ilpost.it/2016/05/22/la-teoria-del-cigno-nero-e-tutti-noi/>

individui scambiano sul mercato, la quantità di informazione sarà maggiore e il prezzo più imprevedibile. Perché in fondo la prevedibilità di un processo si basa sull'anticipare quali eventi accadranno e che effetto indurranno nei prezzi. Ed esiste un nesso tra bassa probabilità e informazione. Ad esempio, si immagina uno scenario di tranquillità economica e poi uno scenario di crisi a seguito dello scoppio di una bolla speculativa. Le bolle finanziarie si espandono in sordina, oltrepassano i limiti di sostenibilità del sistema, data dai cosiddetti *fundamentals*²⁰, ed esplodono senza preavviso. Lo scoppio è statisticamente non rilevabile, non tanto per mancanza di strumenti d'analisi, ma perché spesso è derivante da fattori esogeni. L'analisi di un evento di natura straordinaria e anomala aiuta nella comprensione della struttura del sistema e dà più informazioni rispetto ad un'analisi condotta in fasi di scarsa turbolenza. Infatti, è necessario osservare e studiare una crisi e le sue cause perché è in quel momento che viene rilasciata l'informazione sull'errore e sul malfunzionamento che hanno causato l'instabilità prima irriconoscibile. È intuibilmente il motivo per cui le banche, o altre strutture, vengono sottoposte a stress test. Lo stress test lavora al margine del prevedibile e dell'ordinario e solamente simulando condizioni atipiche e ad elevata tensione economico-finanziaria emergono le vulnerabilità strutturali, e facendo ciò l'informazione e la conoscenza sul sistema aumentano. Così come i fallimenti aziendali o di fondi d'investimento, soprattutto i più drammatici, hanno tanto da insegnare, a differenza dei casi di successo. Aggiungerei l'impressione paradossale che le crisi ed i fallimenti potrebbero anche non essere considerati come imprevisibili poiché negli ultimi tempi appaiono quasi più comuni della prosperità, ma su un più lungo orizzonte storico rimangono eventi a cadenza inferiore.

Il fatto che l'entropia sia maggiore per gli eventi meno prevedibili è in linea con le conclusioni cui si è giunti definendola in termini di onde e segnali, ovvero che tendenzialmente gli eventi meno attesi sono quelli che più hanno impatto sul sistema, e dunque maggiore sarà la diffusione delle relative informazioni. Perché però durante le crisi o nell'espansione di una bolla speculativa si tende a pensare che il mercato sia

²⁰ Per *fundamentals* s'intende l'informazione di natura qualitativa e quantitativa che supporterebbe il valore di una società quotata, ovvero l'ipotetica fonte del valore intrinseco di un titolo.

in realtà inefficiente? Il discorso si separa: da un lato ci sono sostenitori del fatto che siccome durante una crisi o durante un forte boom economico il mercato va alla deriva verso l'alto o verso il basso per lunghi periodi, l'idea che il prezzo debba essere prossimo ad un valore razionale o fondamentalmente veritiero appare del tutto infondata. Tuttavia, abbiamo stabilito che affinché vi sia efficienza informativa è necessario che il prezzo sia ben formato sulla base dell'attuale sentimento di mercato, non che sia costantemente adiacente all'ipotetico valore fondamentale. A ciò si potrebbe eccepire che secondo questa definizione il mercato sarà sempre efficiente qualunque siano i prezzi formati, ma il punto è proprio questo. Il valore fondamentale non dovrebbe tanto essere quello desunto da un'addizione finanziaria delle componenti sottostanti, quanto più quello stabilito dal mercato sulla base di tutto quello che succede nel mondo e il sentimento che ne deriva. Il mercato è cioè il miglior indicatore che ci sia per il valore di un titolo poiché si crea in modo decentralizzato, onnicomprensivo di opinioni e valutazioni e meno incline alle distorsioni rispetto ad una singola stima, questa è l'efficienza. Quindi nei periodi di crisi o di boom non è del tutto lecito affermare che il mercato sia inefficiente, poiché in realtà, secondo una opposta scuola di pensiero, il mercato sta operando in modo efficiente perché scontando l'esuberanza degli investitori, sta rilasciando lo "stress" per correggere il sovraccumulo di pessimismo o ottimismo²¹. Sarebbe infatti strano vedere un mercato discendente quando l'ottimismo prevale nella società, ovvero il mercato è sempre correttamente calibrato per riflettere il pensiero degli investitori, che tendono appunto ad essere iper-ottimisti (o iper-pessimisti), ed il valore del titolo è relativo a questo, non più assoluto. È perciò ragionevole pensare che il mercato sia inefficiente, poiché è un compendio anche degli errori dell'intelletto, che trovano riflesso nel prezzo. Quindi anche in questi termini l'entropia elevata è favorevole, cioè serve sempre quel qualcosa di inatteso capace di stravolgere l'attuale visione delle cose. È altresì importante per un'altra motivazione: l'entropia è incertezza, rumore e disordine, e come spiegato precedentemente, l'uomo agisce da mediatore tra il mondo ed il mercato finanziario tramite un meccanismo di interpretazione degli eventi, e scambiando sulla

²¹ Fama, E., & Thaler, R. (2016, June 30). Are Markets Efficient? Chicago Booth Review. The University of Chicago Booth School of Business. <https://www.chicagobooth.edu/review/are-markets-efficient#>

base dell'informazione assimilata. Abbiamo anche appurato, tramite l'analisi di Grossman-Stiglitz, che affinché l'informazione possa essere integrata deve promettere un rendimento, e perciò un "costo d'accesso". Il rumore dell'informazione è esattamente il costo da pagare per un investitore affinché diventi "informato" e l'entropia, che diffonde tante informazioni diverse, è la causa di questo rumore.

È interessante anche pensare che la tecnologia ed il progresso esasperano questa dinamica. L'informazione, infatti, circola più in fretta ogni giorno che passa a causa della sempre più evidente interconnessione della società, dei mezzi di comunicazione e poi degli operatori di mercato. L'efficienza di mercato è perciò altamente dipendente anche dal numero di operatori che interagiscono, dalla varietà delle loro interpretazioni degli eventi del mondo e dalla quantità e dispersione dell'informazione. Il processo è lineare: più investitori scambiano, maggiore è l'informazione sfruttata e maggiore è l'efficienza. Tipicamente, i mercati a maggiore efficienza risultano essere proprio quelli con un elevato volume di scambi, in cui integrazione dell'informazione e velocità di circolazione delle notizie sono maggiori²². Al contrario, i mercati emergenti presentano livelli di efficienza inferiori proprio a causa della minore partecipazione degli investitori che aumenta il rischio di asimmetrie informative dovute dalla minore diffusione dell'informazione, corrispondente ad un'entropia più debole. Se fosse possibile quantificare questa entropia, probabilmente sarebbe un buon indicatore del livello di efficienza del mercato.

vi. Riepilogo su informazione ed efficienza

In questo primo capitolo abbiamo spiegato come il mercato sia un aggregato di opinioni e valutazioni e un sistema di formazione di prezzi, che sono particelle, quanti di informazione prodotti dall'elaborazione di notizie da parte degli investitori e dal loro scambio. Il prezzo emerge, pertanto, come veicolo di trasmissione d'informazione

²² Zunino, L., Zanin, M., Tabak, B. M., Pérez, D. G., & Rosso, O. A. (2010). Complexity-entropy causality plane: A useful approach to quantify the stock market inefficiency. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(9), 1891-1901. ; Zunino, L., Tabak, B. M., Pérez, D. G., Garavaglia, M., & Rosso, O. A. (2007). Inefficiency in Latin-American market indices. *The European Physical Journal B*, 60, 111-121.

tra tutti gli agenti nel sistema. Abbiamo definito l'efficienza di mercato in quanta informazione è poi contenuta nei prezzi ciò dipenda da una serie di fattori critici per lo scambio come l'irrazionalità intermittente degli investitori, la differenza di aspettative, bisogni e avversità al rischio. Queste diversità sono quindi essenziali e vengono determinate dal rumore di fondo del mercato e dalla dispersione dell'informazione. In questo contesto, la forza che dà impulso alla trasmissione d'informazione e poi all'efficienza del mercato, prende il nome di entropia. L'entropia è dunque messa al centro del flusso di informazione tra mondo, mercato e investitori, da concepire come un *etere*, in quanto mezzo grazie al quale si propagano i fenomeni informativi.

Pur dovendo apparire intrinsecamente imprevedibile, il mercato si scontra con la natura umana, che ripudia e reprime l'imprevedibilità. Questo ha come conseguenza l'insorgere di anomalie ed altre prove empiriche in contrasto con le implicazioni dell'Efficienza di mercato. Nelle prossime sezioni verrà esaminata la struttura sottostante a queste dinamiche: da un lato la casualità pura per comprendere fino a che punto è sufficiente per descrivere le dinamiche in borsa. Poi verrà introdotta la fisica della complessità per osservare con lente macroscopica le fluttuazioni di mercato, le dinamiche aggregate; infine, si passerà alla sfera microscopica per analizzare le cause più profonde delle fluttuazioni di mercato che risiedono nella psicologia degli investitori.

Capitolo II

L'Imprevedibilità

i. Il Dilemma dell'Intuizione

La letteratura accademica e il senso comune convergono nell'idea che il mercato sia fondamentalmente imprevedibile; una peculiarità che non scoraggia la speculazione degli investitori che si basano su "rischio calcolato" e su fortuite intuizioni. È stata però riconosciuta l'importanza cruciale della loro partecipazione a questo gioco, perché l'avventatezza e l'irrazionalità degli investitori sono paradossalmente i propulsori che danno efficienza informativa ai prezzi di mercato. Sorge spontanea la domanda sul perché gli investitori cercano di prevedere l'imprevedibile, e la spiegazione è duplice. Da un lato la più ovvia, ovvero che il costo opportunità è troppo alto per passare inosservato; gli incentivi per la ricerca di nuove tecniche per analizzare il mercato sono fortemente stimolanti. La seconda agisce più nel profondo e sta nel patologico bisogno dell'uomo di trovare un senso allo sviluppo degli eventi; la passeggiata aleatoria di un titolo, seppur intellettualmente comoda, non è sufficiente. Vi è una naturale incapacità dell'uomo di osservare sequenze di fatti senza aggiungere una spiegazione, all'impossibilità di accettare indeterminatezza, incertezza e caso²³. Un esempio è la fortuna: in un qualsiasi fenomeno corredato di esiti noti ma con probabilità ignote e possibilità di vincere/perdere, si tende ad attribuire alla fortuna (o alla sfortuna) il potere di aver determinato quell'esito. La fortuna però non è altro che un'illusione, un tentativo del giocatore di imporre un ordine ad un processo casuale²⁴, e nel mercato non c'è eccezione a questa tendenza. L'uomo è avverso all'incertezza ma finisce per apprezzare, in misura contenuta, il rischio. Perché c'è una sottile distinzione tra rischio e incertezza. Il rischio, o anche denominato incertezza debole, descrive una situazione in cui la distribuzione di

²³ Taleb, N. N. (2008). *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. Penguin UK.

²⁴ Peters, E. E. (1994). *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*. John Wiley & Sons.

probabilità è nota, con esiti che oscillano dall'estremamente favorevole al catastrofico. Vi è cioè una situazione suscettibile di quantificazione, come ad esempio un casinò, in cui il *gambler* è pienamente cosciente dei rischi perché alla mercè di macchine costruite ad hoc per simulare tali condizioni. Nel caso dell'incertezza forte, o la vera incertezza di Knight²⁵, la distribuzione di probabilità è completamente sconosciuta. Il rischio probabilistico è infatti un artificio, è uno strumento creato per rendere nota l'incertezza. Si tende poi a credere che l'incertezza sul mercato equivalga al semplice rischio da casinò, seppur profondamente diversi. Nonostante vengano attribuiti dei valori per campionare il rischio di alcuni esiti favorevoli e sfavorevoli sul mercato (volatilità, rischio di default, ecc.) il reale rischio sottostante non è assolutamente quantificabile perché non esiste una linearità prevedibile tra i fenomeni. Taleb²⁶ parla di fallacia ludica, ovvero la tendenza a pensare che la casualità e l'incertezza sul mercato, derivanti dalla generale indeterminatezza legata a tutti i fenomeni del mondo, siano simili alla casualità sterile e strutturata (artificiale) del gioco. Nel mercato il principio di causa-effetto è semplicemente illusorio; la complessità da cui è composto genera dinamiche refrattarie a qualsiasi metodo di previsione, le singole azioni si acutizzano esponenzialmente ed in modo non prevedibile. Con questo si vuole precisare che non è inutile l'assegnazione di probabilità in sé, quanto più la speculazione cieca e la fiducia nella veridicità di tutti i modelli statistici. Quantificare i rischi ha una sua utilità, ma dev'essere fatto nel modo più ampio possibile includendo tutti gli scenari possibili, specialmente quelli avulsi dalla normalità statistica, poiché come spiegato in precedenza, sono i fenomeni straordinari ad apportare maggior beneficio informativo.

Cosa motiva però lo scetticismo di fronte alle previsioni sull'andamento di mercato e perché è fondamentalmente impossibile verificare una previsione? La predizione nei mercati finanziari è profondamente diversa da quella di qualsiasi altro sistema, e questo deriva dal fatto che la predizione finisce per diventare parte del sistema che cerca di prevedere. In un mercato gli investitori provano tutti ad anticipare e prevedere i movimenti del prezzo di un titolo, associandola ad una vendita o ad un acquisto. La

²⁵ Knight, F. H. (2014). Risk Uncertainty and Profit.

²⁶ Taleb, N. N. (2008). The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. *Penguin UK*.

domanda netta aggregata di ordini *buy* o *sell* determina il prezzo successivo, che poi però retroagisce²⁷. Un esempio luminoso sta nella cosiddetta profezia autoavverante, un fenomeno che rivela la sottile linea che separa visione e persuasione, nonché la loro inscindibilità nel mondo finanziario. Immaginiamo un economista di fama mondiale che per una folgorante intuizione prevede che un dato titolo in un prossimo futuro subirà una forte caduta e che questa sua previsione fosse resa pubblica. Il rilascio di questa informazione nel mercato finisce per avere effetti destabilizzanti ed il titolo sarà vittima dello stesso destino previsto dall'economista. Ma lo sarà per la genialità della sua intuizione o per la smodata vendita di titoli causata dalla fiducia del pubblico riposta nelle sue parole? La veridicità della profezia diventa una questione di chi prima di cosa. Ci si potrebbe anche chiedere cosa accadrebbe se la notizia non fosse rilasciata al pubblico per testare ex ante l'affidabilità del suo presentimento, ma c'è un problema. Ovvero che per intuizione si fa riferimento a quando un individuo identifica un'informazione "trigger" che potrebbe innescare un movimento sul mercato (ad esempio la sopravvalutazione di un titolo), ma fintantoché nessun'altro nel mercato ne prende coscienza, queste condizioni non diventeranno informazione. In altri termini, l'efficacia della sua previsione sta nel renderla disponibile al pubblico e per giunta sfruttarla per scambiare per capire se quei fattori identificati come determinanti siano effettivamente utili e diventare la causa del movimento del prezzo. La situazione, sebbene non frequente, fa comunque riflettere sulla difficoltà che si interpone tra la reale scoperta di informazione nascosta tra le pieghe del mercato e l'aggiustamento del prezzo di mercato verso il valore dettato da quell'informazione. Se un ricercatore identificasse un disallineamento tra prezzo di mercato e valore fondamentale sarebbe comunque incentivato a renderlo pubblico perché andrebbe a suo vantaggio, ma in quell'istante si ritorna alla profezia che si autodetermina, che vanifica la possibilità di analizzare il contesto in modo oggettivo. Tutto ciò ricorda il ruolo dell'indeterminazione in meccanica quantistica: non è possibile conoscere contemporaneamente posizione e momento di una particella, perché per misurare una delle due inevitabilmente si finisce per alterare la misurazione dell'altra. Prevedendo

²⁷ Matera, G. (2017). *Econofisica: la fisica che predice i mercati*. [Tesi di Laurea. Università di Bologna]. <https://amslaurea.unibo.it/14613/1/tesi.pdf>.

il mercato, la previsione corrompe l'andamento del mercato. Questo grande dilemma esiste perché il mercato è complesso; l'evoluzione dipende da troppe variabili che rendono il sistema ostile alle previsioni. L'enorme quantità di elementi interconnessi e determinanti potrebbe in effetti giustificare la presenza di un comportamento caotico e non più lineare come il random walk, in cui lo sviluppo è di natura binomiale. In questo capitolo si analizzerà esattamente questo tema, osservando più da vicino la collisione tra l'analisi fisica del mercato e l'efficienza in termini di imprevedibilità per provare a capire se l'apparente aleatorietà del mercato nasconde una struttura di tipo caotico, e dunque, potenzialmente prevedibile.

ii. Stocasticità Illusoria tra Caos e Caso

Prima delle intuizioni di Poincaré in meccanica celeste, e poi di Lorenz nella meteorologia, sui meccanismi che governano il caos, due visioni opposte dominavano i fenomeni del mondo: il determinismo e il caso. Col primo si descrivevano eventi con variabili determinate, osservabili e che conducevano ad un comportamento ed un'evoluzione prevedibile nel tempo. Si adottava un approccio Riduzionista, ovvero basato sulla scomposizione fino ai minimi termini di un processo, una volta comprese le singole parti, rimettendole insieme si sarebbe compreso il funzionamento nel complesso. È una tecnica che però presuppone interazione lineare tra le componenti, impensabile per i sistemi caotici. La seconda visione, invece, riguardava tutto ciò che appare in contrasto col determinismo, ovvero quei fenomeni che eludevano la modellizzazione matematica, solitamente utilizzata per prevederne lo sviluppo. Erano i fenomeni dalle cause indeterminabili, il cui avvenire era attribuito al puro caso, e il loro studio era circoscritto alla sfera probabilistica. La Teoria del Caos subentra al caso nella descrizione generale di molti di questi sistemi. Un esempio paradigmatico è il lancio di un dado, ritenuto come il massimo esponente di aleatorietà; tuttavia, il dado non è altro che un sistema caotico in miniatura, che esibisce molte delle caratteristiche tipiche²⁸. In particolare, una variazione infinitesimale nella posizione, forza di lancio

²⁸ Ekeland, I. (2017). Come funziona il caos. Dal moto dei pianeti all'effetto farfalla (Prima Edizione). *Bollati Boringhieri*.

o delle proprietà del dado o della superficie, può produrre un esito sempre diverso, e quindi imprevedibile. I sistemi caotici tendono ad apparire, a primo impatto, essenzialmente casuali, ma rimuovendo questo strato si rivela una realtà ben diversa, una realtà che è di fatti deterministica ma di una complessità tale da apparire casuale. È questa la motivazione dietro le ricerche sul caos nel mercato; ovvero se l'andamento dei titoli non è altro che caos deterministico mascherato da stocasticità. Un sistema caotico può infatti apparire casuale per la proprietà di non-linearità sostenuta da una complessa struttura multidimensionale. Non c'è un semplice meccanismo di causa-effetto, ma una concatenazione di micromovimenti che in aggregato risultano imprevedibili. È tuttavia da ricordare che non necessariamente l'incertezza e la casualità sono legate alla complessità della struttura da cui emergono; non nascono solo dalla molteplicità di fattori e di cause, ma anche da meccanismi molto più semplici. È possibile cioè ricreare un sistema caotico elementare basato sull'intervento di un numero ridotto di fattori, ognuno dei quali però, è fonte di casualità autonoma²⁹. Non esiste infatti diretta correlazione tra complessità ed esibizionismo caotico, un sistema semplice può mostrarsi caotico così come un sistema molto complesso può risultare perfettamente prevedibile. Scendere in campo finanziario con l'idea che ciò che appare casuale in realtà potrebbe nascondere un caos latente e deterministico, risulta ambiguo. Perché in questo caso specifico, il caos si deduce dalla complessità e per prevederne l'andamento come per un sistema naturale sarebbe necessario farlo con tutti i fattori che possono influenzare l'andamento del mercato. Per di più, l'andamento del mercato è manipolabile e dipende da una serie di elementi altamente controllabili (ad esempio i tassi di interesse, nuove legislazioni, operazioni aziendali, ecc.), e le cause che determinano il cambiamento di questi fattori sono a loro volta imprevedibili. Il caos di un sistema si può pertanto distinguere in caos deterministico e caos stocastico. Quest'ultimo riguarda comportamenti irregolari derivanti non più dalla dinamica interna del sistema, ma da agenti perturbatori esterni che agiscono in maniera del tutto casuale e non correlata. Si potrebbe affermare che questo sia un'adeguata descrizione di ogni sistema economico. In passato è spesso capitato di spiegare alcuni

²⁹ Ekeland, I. (2017). Come funziona il caos. Dal moto dei pianeti all'effetto farfalla (Prima Edizione). *Bollati Boringhieri*.

fenomeni, quali crisi o altre fluttuazioni, affidandosi a variabili esterne che influenzano il sistema in modo traumatico, aleatorio e imprevedibile. L'altra forma di caos, quello deterministico, è fuori da questo contesto per una questione di inosservabilità: un carattere peculiare di ogni sistema caotico è l'ipersensibilità alle condizioni iniziali, poiché non solo le condizioni iniziali nel mercato non si possono osservare, ma neanche i fattori che le alterano e bisognerebbe conoscere lo stato mentale di ogni singolo individuo.

Perché quindi introdurre una teoria così complessa? Il problema è che se un sistema viene descritto tramite le sole regole del caso, ad esempio il random walk, c'è il rischio di formulare un'idea troppo semplificata della realtà. Oltretutto ci sono una serie di presupposti del random walk che sembrano venir meno in svariati casi empirici. Come, ad esempio, la distribuzione Gaussiana dei rendimenti. Il modello oltretutto trasmette e presuppone l'indifferenza e la passività, che sono principi contrari all'efficienza stessa. Se l'efficienza suggerisce agli investitori di essere passivi e affidarsi al mercato, che evolve in modo aleatorio, questo diventerebbe poi inefficiente dal punto di vista informativo ed il random walk stesso non sarebbe una descrizione accurata. La teoria del caos si occupa di questo, ovvero di rivelare quali sistemi apparentemente stocastici sono dotati di super strutture il cui funzionamento si contrappone al caso e alla linearità. Quindi lo studio dei mercati finanziari tramite un assetto di regole del genere potrebbe essere utile per capire se, ad esempio, l'intuitiva imprevedibilità di crisi o bolle speculative proviene da un sottostante sistema caotico; questo poi potrebbe aiutare a identificare ipotetici segni prodromici di turbolenza e raffreddare l'irrequietezza del mercato prima che si manifesti, proprio come si studia il meteo e ci si prepara al temporale. La relazione tra Scienza, e più in particolare Fisica, e Finanza si trova ancora in fase embrionale, si tende ancora allo studio del mercato finanziario con visione riduzionista, ovvero a scomporre il sistema nelle sue componenti individuali e valutare l'effetto ad area dei singoli input. L'idea sarebbe quindi di studiare non tanto le singole variabili e l'informazione su scala microscopica bensì quelle macroscopiche secondo un approccio basato sui presupposti della teoria del caos, ovvero la presenza di casualità locale, cioè indeterminismo nello studio dei

singoli agenti e determinismo globale, ovvero parziale prevedibilità dei cicli, dei trend prodotti dal mercato in toto.

iii. Dinamica Complessa e Mercato Frattale

È comune sentir dire che i mercati finanziari richiamano le sembianze di un sistema complesso, è bene però precisare la differenza che la complessità ha nei riguardi della più comune complicatezza. Il mercato è un sistema complesso perché è un insieme dinamico di elementi variabili e interagenti, gli investitori, che, in modo armonico ma disgiunto, danno forma e struttura alla sua evoluzione. Questo si caratterizza anche per il fatto che la conoscenza di un singolo, o alcuni, degli elementi costitutivi e dell'informazione non è sufficiente per determinare l'evoluzione del sistema³⁰, la succitata casualità locale. Diverso è il discorso se si osserva il sistema globalmente, poiché il “comportamento”, come conseguenza della reazione sincronizzata di tutte le sottodimensioni, appare organizzato e regolare, come fosse ritmato da un'intenzione esterna alla volontà di ogni investitore. Altra caratteristica fondamentale è la presenza di feedback; con questo s'intende la tendenza dell'output del sistema ad essere reindirizzato come input al sistema stesso³¹, inducendo una circolarità che spezza il ragionamento causale, il determinismo e la prevedibilità. Queste proprietà danno vita ai pattern, alla formazione a sciami e nel mercato finanziario la sottodimensione creativa è l'uomo. In precedenza, il mercato è stato definito in base allo scambio; più nello specifico, in base alla necessaria esistenza di tanti scambi perpetuati nel tempo. Con un solo scambio non è mercato, con tanti scambi sì, molto semplice. Cioè la proprietà del sistema di diventare mercato sta in questa condizione. Oltretutto nessuna singola cellula decisionale di questo apparato sa cosa è meglio per la struttura stessa, significa che nessun investitore può sapere qual è il singolo prezzo migliore così come non è in grado di dare direzione al mercato. È dunque possibile e sensato descrivere il

³⁰ Diani, S. (2021). Sistemi complessi: cosa sono e perché ci riguardano. Sara Diani. <https://saradiani.com/sistemi-complessi-cosa-sono-1/>

³¹ Matera, G. (2017). Econofisica: la fisica che predice i mercati. [*Tesi di Laurea. Università di Bologna*]. <https://amslaurea.unibo.it/14613/1/tesi.pdf..>

mercato finanziario in termini di complessità poiché è più sensato analizzare il sistema in modo aggregato e composto.

Un sistema caotico è un tipo di sistema complesso ma con una dote peculiare, ovvero l'ipersensibilità alle condizioni iniziali. Questo significa che un qualunque cambiamento, per quanto minuscolo possa essere, verrà ingigantito esponenzialmente dalla forza del tempo e della moltitudine di variabili. I fattori che stressano il mercato sono gli stessi che generano l'informazione, appunto, l'intera massa di investitori e la loro psicologia, che a sua volta può essere influenzata da una serie di variabili. Tra queste, ad esempio, le variabili macroeconomiche, sociali e politiche, le quali sono poi dipendenti da altri fattori, nonché tutto l'insieme di cause che controllano lo stato psicologico degli investitori. Quindi, in essenza, per prevedere il mercato come si prevede l'evoluzione di un sistema naturale, bisognerebbe controllare l'intera gamma fenomenologica del mondo. Il mercato in effetti esibisce comportamenti non lineari e dall'apparenza caotica ma casuale. Un singolo fattore scatenante viene esagerato quando attraversa un numero enorme di micro-variazioni che lasciano una firma, e lo stesso si può dire del mercato in cui gli investitori sono esattamente queste piccole variazioni, ovvero l'esponente di un evento, una singola reazione elevata a quanti investitori agiscono su quella informazione. Una cattiva notizia è portata ad avere un impatto elevatissimo perché non sarà un singolo ordine di mercato ad incorporarla, ma una massa di negatività, l'entropia porta la notizia ad espandersi, e contribuisce anche in questo.

Il mercato è quindi un perfetto candidato per essere descritto come un sistema caotico. La non linearità nelle serie storiche è un esempio, i salti anomali nel random walk, nonché intere fasi di perturbazioni causate da un singolo fattore scatenante. Non si può infatti parlare di ipersensibilità alle condizioni iniziali del sistema, quanto più all'effetto di ingrandimento che il sistema di mercato induce su determinati eventi, questo è dovuto appunto dal fatto già menzionato che a reagire è una quantità molto estesa di agenti. In questo contesto si potrebbe attribuire la crisi del 2008 all'avvento della cartolarizzazione o l'abrogazione del *Glass-Steagall Act* nel 1999, azioni singole ma sufficienti affinché questo meccanismo amplificatore ne traesse vigore, conducendo col tempo a deviazioni estreme. Il problema insormontabile sta nella

quantificazione di tale variazione iniziale poiché non esiste un inizio, un punto di partenza, né un ordine assoluto che viene distrutto dall'introduzione della minuscola differenza. In pratica, e per quanto tutto ciò possa apparire affascinante, le prove a sostegno di una effettiva struttura caotica nel mercato sono poche e non convincenti. Oltretutto la descrizione di un qualunque sistema caotico si basa sulla possibilità di poter prevedere il suo sviluppo, entro certi vincoli ed in termini probabilistici, ma sappiamo che nei mercati finanziari, a differenza del meteo o delle orbite planetarie, le variabili determinanti non sono osservabili in anticipo. La fisica però ha in arsenale diversi strumenti per sondare il sistema-mercato. Infatti, dalla vulcanica letteratura sull'applicazione di principi fisici all'economia e alla finanza sbucca l'ipotesi del mercato frattale. L'applicazione dell'ipotesi non rimane ancorata alla sola predicibilità del mercato tramite modelli non-lineari, in quanto fornisce una prospettiva diversa per osservare il mercato, ovvero tramite la dimensione frattale. Un frattale è una figura, un pattern geometricamente autosimilare; l'auto-similarità³² è una proprietà degli oggetti che appaiono uguali o estremamente simili anche se osservati da diverse prospettive di scala. I frattali hanno questa caratteristica: se scomposti o osservati da una scala diversa (inferiore o superiore) rammentano la forma di partenza³³. Per una distribuzione statistica, in questo caso la distribuzione di rendimenti di un titolo, questa proprietà assume il nome di invarianza di scala. È una proprietà statistica fondamentale che il mercato condivide con gli altri più conosciuti sistemi complessi e afferma che non esiste una scala caratteristica, tipica o peculiare per le fluttuazioni dei prezzi. Significa che i rendimenti si distribuiscono identicamente a prescindere dalla magnitudine e la scala di misurazione. Le piccole fluttuazioni sono governate dalle stesse leggi di probabilità e distribuzione delle grandi fluttuazioni, sono ugualmente frequenti, è l'espressione frattale del mercato, ed è esattamente ciò che rende il mercato ostile alla descrizione Gaussiana. È diverso invece il *Multifractal Model of Asset*

³² Mandelbrot, B. B. (1967). How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. *Science*, 156(3775), 636–638. <https://doi.org/10.1126/science.156.3775.636>

³³ Mandelbrot, B. B. (2013). *Fractals and Scaling in Finance: Discontinuity, Concentration, Risk*. Selecta Volume E. Springer Science & Business Media.

Returns (MMAR)³⁴ che esamina i rendimenti su diverse scale, appunto i multifrattali, anziché una singola dimensione frattale.

L’Ipotesi del Mercato Frattale (FMH)³⁵ verrà presa in considerazione solamente perché viene formulata introducendo una variabile, che alla pari della diversità precedentemente menzionata, influisce e determina lo scambio, ma solo in maniera indiretta. Tale variabile è l’orizzonte temporale degli investitori, nello specifico, la differenza tra gli orizzonti temporali. L’orizzonte temporale è il periodo di tempo durante il quale un investitore intende mantenere un investimento, e la diversità è cruciale poiché è ciò che sostiene un adeguato livello di liquidità nel mercato. L’estensione dell’orizzonte determina poi quale set di informazioni è sfruttato nelle transazioni; gli investitori a lungo termine, tendono a considerare meno informazioni e, di conseguenza, a scambiare con meno frequenza. Il ruolo di questi investitori “passivi” è quello di fornire liquidità, per favorire lo scambio tra gli investitori di breve termine, che, al contrario, fomentano il meccanismo di iniezione dell’informazione assorbendo liquidità nel mercato. Il sistema si trova in equilibrio quando c’è diversità nell’informazione utilizzata e gli orizzonti temporali sono eterogenei. In caso di crisi, l’incertezza sul futuro induce gli investitori ad accorciare il proprio orizzonte temporale: la liquidità si prosciuga ed il mercato diventa instabile. Questa considerazione aggiunge precisione all’analisi, poiché ora si intuisce che gli investitori convertono parte dell’informazione che assumono a seconda del loro orizzonte temporale. La componente aggiuntiva introduce, inoltre, una condizione erroneamente trascurata dall’Ipotesi dei Mercati Efficienti, ovvero la liquidità. Un mercato efficiente non è necessariamente stabile, ma un mercato, per essere stabile, dev’essere liquido. E la liquidità è il risultato di una discrepanza *congrua* tra gli orizzonti temporali degli investitori. Tuttavia, quando un mercato è illiquido ed instabile, si verifica un allontanamento dei prezzi da una equa (*fair*) valorizzazione del sottostante, creando inefficienze. “Quando l’assenza di liquidità colpisce, gli investitori sono disposti ad

³⁴ Mandelbrot, B. B., Fisher, A. J., & Calvet, L. E. (1997). A Multifractal Model of Asset Returns. In HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe). French National Centre for Scientific Research. <https://hal-hec.archives-ouvertes.fr/hal-00601870>

³⁵ Peters, E. J. G. (1994). Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics.

accettare un qualsiasi prezzo, che sia ragionevole o meno³⁶”. Gli investitori si precipitano nel presente, gli orizzonti temporali collassano sul breve termine e il mercato trema. La crisi è una fase temporanea, caratterizzata da forte turbolenza, seguita da una transizione di fase grazie all’informazione rilasciata. Dei grandi sommovimenti precedono sempre i cambiamenti, ed una caratteristica interessante di alcuni sistemi complessi è quello di produrre forti deviazioni a partire dalla turbolenza interna e spontanea. È una buona alternativa a quelle variabili di shock esogeno che di norma servono a motivare le crisi; nel caso del 2008 non fu tanto un fattore esterno a destabilizzare il sistema, quando più le dinamiche interne al sistema finanziario stesso. Si può tracciare un’analogia con la distruzione creativa di Schumpeter, il processo secondo cui un sistema economico attraversa incessantemente fasi di mutazione interne che distruggono la vecchia struttura per crearne una nuova³⁷. In questo caso, invece di un cambio di paradigma della struttura, si osserva una mutazione nella mentalità, nella postura del pubblico e nelle procedure e regolamentazioni istituzionali, che solitamente seguono le crisi.

La critica, o se preferiamo il contributo, dell’Ipotesi Frattale risiede nell’idea che i prezzi in un dato momento non riflettono tutte le informazioni disponibili, bensì solo quelle rilevanti per gli investitori con orizzonti temporali brevi o lunghi. Ciò deriva dal fatto che gli investitori sfruttano ed interpretano l’informazione in modo diverso, a seconda del proprio orizzonte. Paradossalmente, solo in tempi di crisi, ossia quando il mercato è instabile e gli orizzonti convergono nel breve termine, si osserva efficienza informativa, perché in quel momento ci sono più investitori a scambiare. Una tale circostanza appare senza dubbio plausibile se si considera che durante i periodi di crisi diventa ancora più arduo prevedere in che direzione si muoverà il mercato, perché la mentalità degli investitori è in una fase “alterata”, il mercato è incerto, disordinato e l’entropia è alta. Così che sarà necessario un più approfondito studio per scambiare. In tale contesto, l’efficienza si manifesta sotto il profilo informativo, dato che gli orizzonti temporali coincidono e l’informazione è pienamente integrata, ma non in termini di imprevedibilità del mercato, poiché si genera ordine verso col ribasso dei

³⁶ Peters, E. J. G. (1994). *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*.

³⁷ Schumpeter, J. A. (2013). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Routledge.

prezzi. Durante periodi di crisi di mercato, gli investitori tendono a fare affidamento sulle notizie più recenti per strappare al mercato un prezzo, che potrebbe non essere equo ed informato, pur di proteggere il proprio capitale. L'ambiguità persiste anche nell'efficienza basata sulla razionalità, perché gli investitori abbasseranno il proprio prezzo di riserva diventando più indulgenti. È un meccanismo che potrebbe far oscillare i prezzi verso livelli non propriamente razionali, ma è un'implicazione che verrà esaminata più nel dettaglio nel terzo capitolo. Si può concludere che, sotto determinate condizioni di turbolenza di mercato, la tempesta di ordini di mercato, motivata in parte dal tentativo di sfruttare la crescita o di vendere per evitare la discesa, spinge sull'efficienza informativa. Tuttavia, l'aspetto degenerativo di questo scenario insiste sul fatto che la qualità dell'informazione e dunque la razionalità del prezzo calano drasticamente, perché non si verifica una vera e propria ricerca di informazioni, ma piuttosto un affidamento cieco al sentimento che prevale sul mercato. L'ipotesi frattale, di per sé, non è quindi un modello sufficientemente esaustivo per descrivere il funzionamento dei mercati, ma ha offerto un'importante prospettiva per osservare e valutare l'efficienza.

Si è osservato che i frattali e altre strutture complesse ordinate possono emergere da sistemi intrinsecamente caotici, ovvero l'andamento apparentemente disordinato converge verso traiettorie ripetibili e in parte prevedibili. Tuttavia, questa "simmetria" si spezza in presenza di un piccolo errore o cambiamento nelle condizioni iniziali. Ma è una condizione non verificabile nel mercato se non a livello descrittivo, poiché il solo *proxy* utilizzato per inferire un comportamento caotico è la non linearità nell'andamento delle serie storiche, i salti nei rendimenti non Gaussiani, ma riproducono solo una delle condizioni necessarie per il caos. Dunque, per quanto seducente possa sembrare l'ipotesi dell'esistenza di un caos deterministico sotteso all'apparente casualità del mercato, gli studi risultano inconcludenti.³⁸ Nell'acuta analisi di LeBaron (1994), si evidenzia infatti come la dinamica non lineare riscontrabile nelle serie storiche sul mercato sia comunque insignificante e meno

³⁸ Peters 1991, LeBaron 1994, Benhabib 1996, Mandelbrot 1999, Barnett & Serletis 2000, Small & Tse 2003.

osservabile rispetto alla componente stocastica³⁹. Il mercato può quindi essere considerato astrattamente come un sistema complesso e talvolta caotico, ma è un caos che emerge ad intermittenza e non in modo sistematico, e si sperimenta in pochi sbalzi non lineari e non spiegabili dalle variabili osservate. Questo carattere di non linearità potrebbe poi essere motivato dalla sincronizzazione dello stato psicologico degli investitori e se ne parlerà nel terzo capitolo. Da ciò si evince che, quand'anche un mercato dovesse essere analizzato secondo modelli di complessità e caos, sarebbe necessario considerare l'idea che il meccanismo sottostante all'evoluzione del prezzo, nel continuo ad intervalli non discreti, possa manifestarsi sotto forma di random walk, con delle eccezioni, ma comunque in maniera prevalente.

iv. Ordine Emergente: Tasche di Prevedibilità

La Teoria del Caos si è rivelata un' ipotesi eloquente, ma non altrettanto incisiva, ai fini della analisi strutturale del mercato e in quanto tale rimane confinata alla sua natura descrittiva e non analitica. Tuttavia, l'introduzione della componente di liquidità dell'ipotesi frattale e l'idea della divergenza tra orizzonti temporali si sono dimostrate utili per rafforzare l'analisi informativa sull'efficienza di mercato. Per tali ragioni, si procederà testando l'efficienza di mercato nella sua forma debole, ovvero in termini di imprevedibilità. Questo perché l'imprevedibilità è la sola condizione osservabile ai fini della definizione d'efficienza, ossia l'indipendenza e la non correlazione col passato.

Per far si farà affidamento al caso (e non al caos), attraverso il modello di random walk. Bisogna fare un piccolo appunto; casualità ed imprevedibilità sono concetti distinti, non è questione di pedanteria, ma di fondamentale struttura del sistema. Un fenomeno imprevedibile è ciò che non potrà mai essere anticipato con certezza. Il meteo è imprevedibile; l'accumulo e l'analisi dell'informazione nei sistemi atmosferici possono tutt'al più produrre una "supposizione educata", previsione supportata da informazione. Ma il meteo non è casuale, se la temperatura è di 15°C

³⁹ Peters, E. E. (1994). *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*. John Wiley & Sons.

ora, non potrà certamente essere di -10°C tra 1 ora. Ci sono relazioni deterministiche in gioco, e non semplici sbalzi indipendenti. La descrizione aleatoria del mercato vede poi il peggior punto interrogativo nella dubbia esistenza di qualcosa di realmente casuale nell'universo, ma nel mercato questi due concetti convergono, non esiste un mercato in cui si osservano le variabili e si prevede l'evoluzione, ed ecco perché l'imprevedibilità viene testata utilizzando un modello costruito sulla casualità.

Se quindi neanche la teoria del caos riesce a fornire stime predittive, vi è comunque un'utilità nascosta nello studio del mercato in termini di complessità, almeno per osservare la sua organizzazione, dinamica ed evoluzione. Il mercato per come è costruito è indubbiamente un sistema complesso, e può essere stilizzato come un'entità frapposta tra periodi di ordine e di disordine. Per capire meglio questa tassonomia è importante descrivere cosa accade nei periodi di ordine, che corrispondono con i periodi di crisi. È stato menzionato il dibattito circa il grado di efficienza di un mercato durante una fase di turbolenza, e contrariamente a quanto il termine suggerisce, questi periodi in realtà appaiono più ordinati che caotici. Nel primo capitolo è stato fatto accenno al fatto che il mercato è imprevedibile e razionale nei prezzi quando vi è diversità tra gli investitori, tra gli agenti che scambiano e che il random walk è frutto della differenza netta tra gli ordini di acquisto o vendita. Se più agenti vendono il prezzo scende, se più agenti comprano il prezzo sale; la passeggiata aleatoria affonda le radici nell'impossibilità categorica di determinare ex ante la numerosità degli ordini di vendita ed acquisto. Per verso, quando il mercato affronta un periodo di crisi, è come se la differenza netta di ordini fosse vagamente intuibile. Il sentimento diffuso è che il mercato tenderà a mantenere il proprio moto, rimanendo in questo senso ordinato e potenzialmente prevedibile. È un'ipotesi che viene messa in bilancio dal modello del random walk, che ammette un *drift*, così come generalmente l'efficienza di mercato ammette che vi siano determinate sacche di prevedibilità. Il termine bolle d'aria nell'efficienza è stato adoperato nello scorso capitolo per far intuire come l'ipotesi dei mercati efficienti sia consapevole della suscettibilità della massa di investitori ad essere contagiata da sentimenti comuni e di tendere verso un ordine superiore. Questo, dunque, determina l'insorgere di periodi di sincronizzazione a partire da situazioni di disordine in cui il sistema versava in precedenza.

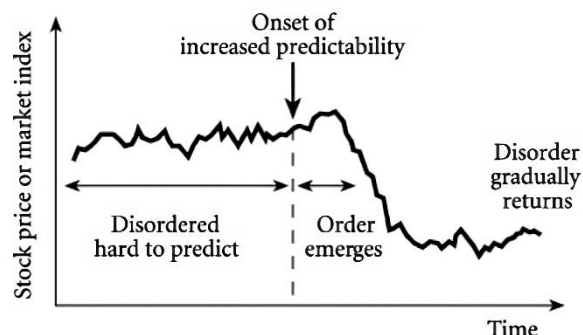


Figura 3: L'ordine emerge nelle fasi di crash⁴⁰.

La Scienza della Complessità permette di identificare ed analizzare queste finestre di ordine emergente e di vedere le fasi precedenti come fossero premonitrici dell'insorgere di crisi. L'energia sprigionata da questo approccio sta proprio nel comprendere non più in modo esogeno e a posteriori le crisi, ma addentrarsi nei sommovimenti, nelle fasi di turbolenza prima della transizione. Per transizione si intende il cambio di regime, da disordine e casualità ad ordine e regolarità nelle variazioni percentuali.

Lo scenario di ordine spontaneo ed emergente si può anche osservare nel cosiddetto effetto *momentum*⁴¹. È emergente poiché è una manifestazione che si produce dall'interazione di tanti agenti. Consiste nella conseguenza di una serie di fattori, più mentali che finanziari appunto, che comportano l'autocorrelazione positiva dei rendimenti a breve termine, non-normalità nei rendimenti e clustering nella volatilità dovuta alle eccessive reazioni degli investitori⁴². Significa che i movimenti del prezzo di un titolo o di un indice diventano non più completamente aleatori, ma hanno un centro d'attrazione preferito posizionato in alto o in basso a cui è calamitata l'evoluzione del prezzo. Questo accade perché generalmente l'agente investitore segue

⁴⁰ Matera, G. (2017). Econofisica: la fisica che predice i mercati. [Tesi di Laurea. Università di Bologna]. <https://amslaurea.unibo.it/14613/1/tesi.pdf>.

⁴¹ Jegadeesh, N., & Titman, S. (1993). Returns to Buying Winners and Selling Losers: Implications for Stock Market Efficiency. *Journal of Finance*, 48(1), 65–91. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1993.tb04702.x>

⁴² Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1988). Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test. *Review of Financial Studies*, 1(1), 41–66. <https://doi.org/10.1093/rfs/1.1.41>

i trend anziché prendere decisioni in maniera indipendente, e così facendo buon parte del mercato si muoverà di conseguenza. I titoli che dimostrano un andamento crescente, e dunque rendimenti positivi, verranno acquistati anche senza aver cognizione di causa, spingendo ancora di più il prezzo, e innescando un loop positivo. Specularmente, un titolo in fase decrescente verrà venduto, innescando un loop negativo. La manifestazione visiva e statistica di questi loop consiste nel trascinarsi, il momentum appunto, dei valori che tenderanno a conservare il proprio “moto” negli intervalli successivi. Variazioni percentuali negative seguono variazioni percentuali positive, e viceversa con le variazioni positive. È apparentemente contro il random walk, e l'imprevedibilità ma non è in contrasto con l'efficienza informativa dei prezzi. Questo si verifica quando una notizia viene integrata lentamente nel tempo dai vari investitori; tuttavia, non è un'argomentazione valida contro l'efficienza di mercato in toto perché l'informazione è comunque integrata istantaneamente dal primo operatore che scambia sulla base di quella notizia. Il fatto che il prezzo continui a salire o a scendere successivamente al primo step significa che esiste un lag nella ricezione dell'informazione, nella trasmissione, e che gli investitori tendono a scambiare per imitazione. Quindi in realtà l'informazione originaria che determina il movimento (su o giù/compra o vendi) nell'idealistico mondo dicotomico è integrata nel mercato e nel sistema di formazione del prezzo e tutti gli scambi successivi sono solo lag che provocano l'esagerazione della risposta iniziale. È una situazione che verrà presa in analisi nel terzo capitolo e per ora è sufficiente sapere che la causa è in parte legata a razionalità ed irrazionalità, così come al fatto che l'entropia come forza di propagazione dell'informazione agisce in un tempo che non è immediato, e queste fasi di “ordine” potrebbero esserne una visibile conseguenza.

Se si volesse descrivere questa anomalia in termini di complessità sarebbe sufficiente affermare che in alcuni istanti del tempo prevale un dato sentimento di mercato, il quale fa sì che i singoli investitori vogliano tutti acquistare per ottenere profitti o vendere per evitare di perdere soldi. Questi singoli comportamenti fanno gonfiare e sgonfiare il mercato. Le cause dell'insorgere di dati sentimenti di mercato sono le crisi economiche, le bolle speculative, o anche notizie con un forte impatto sulle aspettative.

Si può concludere che *in media* il mercato si comporta in modo imprevedibile, irregolare e con balzi casuali. Il problema sta nell'ampiezza di questi balzi. L'analisi sotto una lente della complessità permette però di fare un promettente distinguo tra le fasi di ordine e disordine che si alternano. Le cause di questa proprietà risiedono nel funzionamento della mente degli agenti di mercato, è la loro psicologia il vero motore del prezzo. A tal proposito, l'imprevedibilità, nonostante le numerose singolarità, rimane la descrizione più semplice ed efficace per descrivere i continui passi del prezzo. Questa è la fondamentale conclusione da tenere a mente, ovvero che le micro-tendenze all'ordine e le tasche di prevedibilità sono osservabili a posteriori, si ritorna al discorso sulla casualità. Se anche si identificasse un orizzonte di apparente prevedibilità o di un qualsivoglia pattern, non vi sarebbe alcuna certezza che questo si verifichi concretamente, né quanto durerà, né se sia sufficiente per costruire modelli per future previsioni.

v. Disordine Emergente: Entropia ed Efficienza

Come altri sistemi complessi, il mercato finanziario dà sfogo ad una proprietà che verrà intesa come fattore causante dei salti, delle non linearità e dei rendimenti estremi che disturbano il random walk. Questa proprietà è il comportamento emergente, ovvero la situazione già menzionata in cui determinate proprietà assumono significato e direzione maggiore su scala macroscopica, nonostante scaturiscano da una serie di interazioni microscopiche di entità inferiore. Il mercato, secondo queste metriche, esibisce il comportamento emergente in una modalità precedentemente definita come entropia. Per capire se un comportamento è emergente bisogna domandarsi se questo si possa verificare anche riducendo il numero di entità che fanno parte della struttura. L'informazione è rilasciata sul mercato e viene diffusa grazie all'entropia, la quale però è funzione del numero di agenti nel sistema. L'informazione è apportata individualmente dai singoli investitori, ma è essenzialmente conservata ed accumulata dal mercato stesso attraverso i prezzi. Il nucleo sostanziale della questione però sta nel fatto che nonostante ogni investitore conosca una minuscola frazione del mercato e contribuisca solo in misura infinitesimale all'intero apparato informativo, mentre a

livello aggregato e senza una esplicita coordinazione, il mercato raggiunge una dinamica condizione di equilibrio data dalla costante esplosione dell'informazione e dall'efficienza di mercato.

Il significato generale di queste affermazioni sta nel fatto che ogni assioma dell'Efficienza di mercato può essere visto come proprietà emergente; anche il random walk stesso, più nello specifico il random walk con drift. Il random walk è rispettato infatti quando vi è perfetta efficienza di mercato. Perché se infatti si riducesse il mercato ad un numero più limitato di operatori sarebbe molto più probabile che vengano a crearsi configurazioni diverse. Nei mercati emergenti, considerati tali per il numero ridotto di agenti, scambi effettuati e livello di liquidità, l'efficienza è appunto ridotta e si osserva un'incidenza di asimmetrie informative e pattern superiore⁴³. Il random walk può quindi essere utilizzato come parametro, abbastanza approssimativo, per caratterizzare un mercato efficiente. Il fatto poi che il mercato appaia nella forma di un random walk non è da intendere come una semplificazione delle cause determinanti dei movimenti del mercato, ma solamente come descrizione apparente, come un modello. Vale a dire che il mercato non è davvero intrinsecamente casuale e stocastico, la struttura sottostante è chiaramente deterministica, ma la miglior descrizione che ci sia per la quantità così vasta di piccoli movimenti disconnessi è appunto la passeggiata aleatoria. La questione che si vuole sollevare qui è se l'esibizione di efficienza di mercato, informatività nei prezzi ed imprevedibilità intrinseca possano essere considerati comportamenti emergenti, come derivanti da un'intelligenza di sciame.

Il comportamento emergente, la cosiddetta “*emergence*” potrebbe inoltre essere ciò che il mercato esibisce nella forma del cosiddetto *collective behavior*⁴⁴. L'espressione frattale del mercato, le fluttuazioni non lineari, l'ordine su larga scala e l'entropia stessa, fungono da cartine al tornasole di comportamenti collettivi ed emergenti. Questo perché è un sistema estremamente interconnesso, e con l'entropia ad

⁴³ Bekaert, G., Harvey, C. R., & Lundblad, C. T. (2007). Liquidity and Expected Returns: Lessons from Emerging Markets. *Review of Financial Studies*, 20(6), 1783–1831. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhm030>.

⁴⁴ Turner, R. H., & Killian, L. M. (1987). *Collective Behavior*. Prentice Hall.

amplificare la circolazione d'informazione; qui si producono le onde più ampie che causano la coordinazione tra agenti e il crollo o l'espansione dei prezzi azionari. L'alternarsi, dunque, tra finestre di prevedibilità, intervalli di furore e periodi di pura stocasticità sono conseguenza di tutto ciò.

L'*emergence* quindi si riferisce a nuove modalità e tipologie di comportamento derivanti da sistemi con tanti costituenti che interagiscono. Dettaglio importante è che il *collective behavior* non è di per sé una proprietà emergente, quanto una modalità attraverso cui le proprietà emergenti si dispiegano; cioè il comportamento collettivo avviene quando un catalizzatore sincronizza il *sentiment* degli agenti di mercato, la psicologia della folla, e da questo scaturiscono le proprietà emergenti come l'entropia, la formazione di pattern nei prezzi, l'efficienza di mercato, e così via. Sono chiaramente proprietà emergenti perché si sollevano dal comportamento congiunto, decentralizzato e spontaneamente organizzato di tanti e diversi individui e non avrebbe senso neanche nominarlo qualora il mercato fosse costituito da pochi individui. Allo stesso modo in cui una serie di elettroni genera la conduttività elettrica di un materiale che non esisterebbe con un solo elettrone.

Per verificare l'esistenza di queste proprietà emergenti la prossima analisi getterà le basi per l'analisi statistica del mercato in cui le anomalie al random walk sono rilevate attraverso nuvole di rendimenti autocorrelati.

vi. Voli di Lévy

Prima di introdurre il modello sul Random Walk, è necessario fare un appunto su un fenomeno riscontrabile di frequente durante l'analisi dei rendimenti di mercato. I prezzi relativi a un indice azionario sono un processo stocastico, il moto browniano, e percorrono un cammino irregolare e caotico. Si può tuttavia riscontrare che la distribuzione dei rendimenti dell'indice stesso non segua una distribuzione di probabilità perfettamente normale. Per questo tipo di distribuzione, infatti, può essere molto alta la probabilità che si verifichino eventi estremi. Tali fenomeni vengono detti "voli" dal momento che possono verificarsi, con probabilità non trascurabile, dei salti

di ampiezza considerevole, provocando grandi fluttuazioni nelle variabili⁴⁵. Questo processo di superdiffusione, noto come Volo di Lévy⁴⁶, si distingue dal processo di diffusione normale, ovvero il moto browniano, in cui l'ampiezza dei passi è ridotta, proprio perché modella eventi rari ed imprevedibili dall'impatto significativo. Nei movimenti dei prezzi, queste occorrenze sono possibili poiché a causa di un qualche evento significativo gli agenti fomentano i passi trasformandoli in salti svendendo o acquistano in gruppo il titolo di interesse.

È un altro esempio di anomalia che accresce la distanza tra il modello del random walk e il mercato e questa si può presentare nella stessa forma del momentum, ovvero con rendimenti con grandi deviazioni rispetto alla media. Nella prossima sezione si metteranno d'accordo le idee stese fin qui, osservando nei dati raccolti le fasi di ordine, le fasi di disordine e le relative manifestazioni statistiche.

vii. Basi Probabilistiche del Random Walk e dell'Autocorrelazione

La versione ante litteram del random walk venne integrata dalla teoria della probabilità nel secolo scorso, precisamente nel 1934, grazie allo stesso Paul Lévy cui venne attribuito l'omonimo processo di Lévy, che descrive un andamento sostanzialmente stocastico. La condizione elementare del processo era:

$$E[P_{t+1} | P_t, P_{t-1}, \dots] = P_t$$

Cioè, il prezzo atteso in un periodo successivo a t è semplicemente pari al prezzo nel periodo corrente, che sarà la miglior possibile previsione. In altri termini, la variazione percentuale del prezzo nel prossimo periodo, condizionata ai valori precedenti, è pari a zero. È facilmente intuibile che si tratta di un ambiente binomiale, dato che il prezzo può andare in alto o in basso con pari probabilità. L'efficienza di mercato affonda qui le proprie radici: l'informazione passata non è rilevante per

⁴⁵ Bormetti, G., Montagna, G., Treccani, M., & Moreni, N. 10. Complessità e i voli di Lévy. *Scienza per Tutti*. Retrieved May 21, 2023, from <https://scienzapertutti.infn.it/10-complessita-e-i-voli-di-levy>

⁴⁶ Ottaviano, S. (2011). Sui voli di Lévy [Tesi di Laurea, Università di Bologna]. <https://core.ac.uk/download/pdf/11807061.pdf>

determinare il futuro ed il prezzo dei titoli cambia in modo casuale, senza essere influenzato dal suo passato.

È stata fornita nel primo capitolo un'equazione preliminare del random walk. Adesso verrà richiamata in una sua versione modificata⁴⁷:

$$P_t = \mu + P_{t-1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim \text{IID}(0, \sigma^2)$$

In cui μ è il *drift* cioè la variazione di prezzo attesa. È il termine costante che denota la deriva, il bias verso cui il prezzo tende nel lungo periodo, che può essere sia al rialzo che al ribasso; è ciò che determina che la serie abbia una media diversa da zero. $\text{IID}(0, \sigma^2)$ indica che ε_t è indipendente e identicamente distribuito con media 0 e varianza σ^2 . L'indipendenza delle variazioni percentuali garantirebbe l'assenza di autocorrelazione. L'autocorrelazione quantifica la relazione lineare tra osservazioni di una stessa variabile ordinata temporalmente ad intervalli noti come "ritardi". Un coefficiente di autocorrelazione positivo suggerisce che un incremento in un determinato periodo discreto è seguito da un altro incremento nel periodo successivo; in caso di autocorrelazione negativa si osserva un'inversione di tendenza⁴⁸. L'esistenza di autocorrelazione in una serie storica suggerisce che le osservazioni in un tempo $t+k$ sono fortemente influenzate dalle osservazioni precedenti, ad esempio in t o in $t-k$ e che la serie ha un certo grado di "persistenza" nel tempo.

Poniamo I_t che indica se il rendimento al tempo r_t è positivo o negativo. Sotto l'ipotesi di random walk con drift:

$$I_t = \begin{cases} 1 & \text{con probabilità } \pi \\ 0 & \text{con probabilità } 1-\pi, \end{cases}$$

Se il drift μ è positivo allora $\pi > \frac{1}{2}$, mentre se è negativo $\pi < \frac{1}{2}$. Fintantoché $\mu \neq 0$, sequenze di rendimenti ordinati sono più probabili rispetto alle inversioni di tendenza⁴⁹. Quindi, in un random walk con drift, il prezzo varia casualmente ma con

⁴⁷ Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997). *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton University Press.

⁴⁸ Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2017). *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*. Springer.

⁴⁹ Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997b). *The Econometrics of Financial Markets*. In Princeton University Press eBooks. <https://doi.org/10.1515/9781400830213>

una costante tendenza di fondo. Il mercato è di fatti un random walk con drift, il quale è una conseguenza di alcuni presupposti fondamentali dell'economia, tra i più evidenti si annoverano inflazione e crescita economica, mentre uno meno immediato è che se tutti i singoli agenti operano sul mercato col fine di guadagnare nel medio-lungo periodo allora si osserva, a livello aggregato e macroscopico, una tendenza del mercato a crescere. È lo stesso principio secondo cui durante cicli espansivi o di crash, gli agenti tendono in sincronia verso la vendita o l'acquisto di titoli. La conseguenza che si osserva è il movimento cumulato del mercato nella direzione favorita dalla differenza netta di ordini tra acquisti e vendita, intuitivamente vendite in crisi e acquisti in fasi di boom. L'attenzione della prossima analisi si poserà proprio su questa tendenza degli investitori a sincronizzare la propria strategia senza alcuna coordinazione volontaria e la propensione del mercato ad esibire sporadiche espressioni di ordine e regolarità. Al contempo verrà analizzata l'efficacia di un tale processo stocastico a descrizione del mercato. Dunque, in sintesi, l'obiettivo di questa analisi sarà verificare l'esistenza di alcune anomalie rappresentate da tasche di prevedibilità, ovvero di inconsistenza al random walk sottoforma di autocorrelazione, ma comunque una tendenza generale del mercato a produrre rendimenti aleatori. È importante dunque sottolineare l'importanza sonora ed empirica del termine generale, che intende "nella maggior parte dei casi". Per far ciò viene preso in esame un intervallo di dati dal 1998 al 2013, all'interno del quale sono presenti periodi di modeste oscillazioni così come diversi campioni di eventi estremi: la bolla di Internet e la crisi del 2008. L'ambizione dell'analisi risiede nell'identificare singolarità nel modello del Random Walk applicabile alle serie storiche utilizzando dapprima il test Augmented Dickey-Fuller e poi il test di Box-Ljung sull'autocorrelazione dei rendimenti, o differenze prime.

Il test Augmented Dickey-Fuller⁵⁰ (d'ora in poi ADF) aiuta a determinare se una serie temporale è stazionaria o meno. La stazionarietà è un fondamentale concetto che esprima la proprietà di una serie storica di esibire media a varianza costanti nel tempo. Il test cattura proprio questa caratteristica grazie alla presenza o assenza di una radice unitaria; radice unitaria significa semplicemente stocasticità, rumore, random walk. L'ipotesi posta a verifica consiste nella presenza di periodi alternati di ordine e

⁵⁰ Greene, W. H. (2012). *Econometric Analysis*.

disordine, ovvero con finestre temporali in cui la distribuzione dei rendimenti è consistente col modello del random walk e di altri frangenti in cui i rendimenti non sono del tutto casuali, che presentano forti deviazioni prolungate e rendimenti serialmente correlati. Il test si applica al modello autoregressivo lineare:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \delta_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \delta_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + \varepsilon_t,$$

In cui vi è una differenza prima Δy_t rispetto al valore y_{t-1} , l'intercetta e la tendenza della serie, rispettivamente α e βt . Gli ultimi termini sulla destra rappresentano le differenze "ritardate" della serie, ed infine l'errore ε_t .

La presenza di radice unitaria si afferma sotto l'ipotesi nulla di $\gamma = 0$, contro l'ipotesi alternativa $\gamma < 0$. La statistica test è:

$$DF_t = \frac{\hat{\gamma}}{SE(\hat{\gamma})}$$

viii. Analisi Empirica

Per adempiere all'obiettivo fissato, sono stati ricavati dati relativi alle chiusure dell'indice azionario *S&P500*⁵¹ in un intervallo di circa 15 anni ovvero 3800 giorni borsistici, escludendo weekend e festivi. L'arco temporale è stato poi segmentato in diversi intervalli più piccoli composti da 50 giorni ciascuno, poi 75 ed infine 100. In ogni intervallo è stato eseguito il test sull'autocorrelazione laddove il test ADF per determinare la stazionarietà della serie risultasse significativo (i.e. non random walk). La scelta è motivata dal fatto che il test sull'autocorrelazione presuppone che la serie sia stazionaria, e dunque è stato eseguito solamente nei casi in cui apparisse come tale, e la condizione è appunto posta a verifica tramite l'ADF. Preme immediatamente evidenziare la limitazione di questo tipo d'analisi, che si sostanzia nel fatto che la presenza di un trend, o di correlazione seriale, potrebbe venir spezzato dall'interruzione dell'intervallo, a scapito della perdita d'informazione e piena comprensione del fenomeno. Tuttavia, l'analisi alternativa tramite *rolling window*,

⁵¹ Yahoo Finance. (n.d.). S&P 500 (^GSPC) - Historical Data. Yahoo!Finance. Retrieved May 23, 15 C.E., from <https://finance.yahoo.com/quote/%5EGSPC/history?p=%5EGSPC>.

ovvero finestra temporale “scorrevole”, potrebbe produrre dipendenza tra dati. L’importanza dell’esecuzione su diverse finestre temporali, non soggette ad *overlapping*, sta nell’evitare questa dipendenza e testare l’autocorrelazione a campione, anziché sull’intera distribuzione conducendo a possibili falsi positivi.

Lo storico dei dati raccolti appare in Figura 4. In questo particolare caso, la presenza di *drift* non si osserva tanto nel lungo periodo, bensì nelle più brevi finestre da circa 200 fino a 1200 giorni di osservazioni; ad esempio, dal 2003 al 2008. Il ciclo sottostante qui osservabile è di fatti sinusoidale, ma è bene notare che i dati raccolti rappresentano solo un dorsale dell’intera storia di questo particolare mercato, che, nel lungo termine, esibisce di fatti un’evidente deriva al rialzo. È imperativo aprire qui una parentesi per far notare che nonostante si evinca una ciclicità nella serie storica, non è comunque rilevante o significativa per affermare la ripetitività future del ciclo, che si tratta di una semplice coincidenza del campione temporale selezionato. Dunque, il controllo per il drift nel test ADF verrà effettuato per gli intervalli contenenti più di 200 osservazioni.

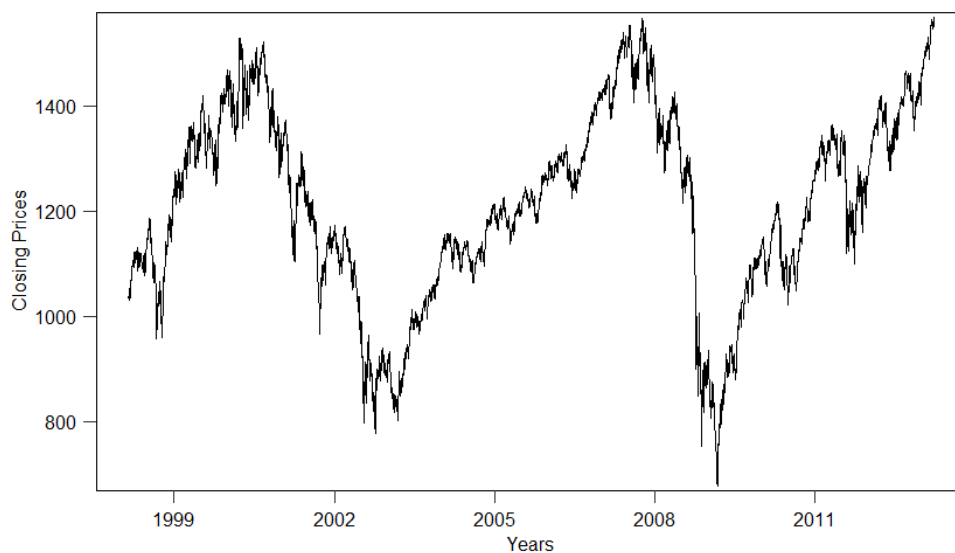


Figura 4: S&P500 chiusure febbraio 1998 – aprile 2013. Le maggiori e più evidenti correzioni sono rispettivamente il crash del 1999 e del 2008.

Gli opportuni test sono stati effettuati non già sui prezzi bensì sui rendimenti nella forma:

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \equiv \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}).$$

La distribuzione dei rendimenti esibisce alcune nuvole di valori estremi come si evince in Figura 5. Sono già qui evidentissime le fluttuazioni rare e significative, i succitati Voli di Lévy. Per osservare ulteriormente la distribuzione, ed il suo aspetto non Gaussiano, si osservi la Figura 6. Si osservano rendimenti estremi in entrambe le code della distribuzione, nonché una eccessiva frequenza di rendimenti bassi attorno allo zero.

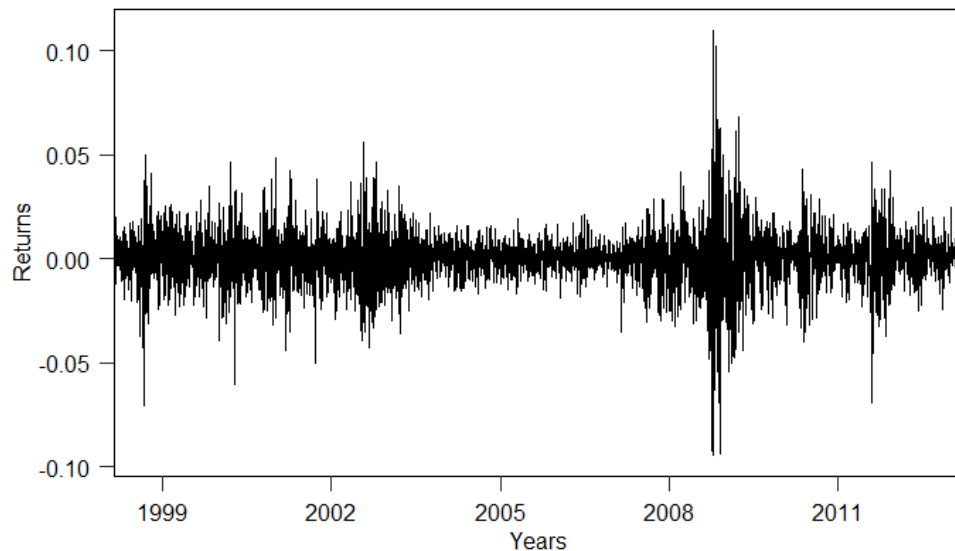


Figura 5: Distribuzione dei rendimenti logaritmici dell'S&P500 dal 1998 al 2013.

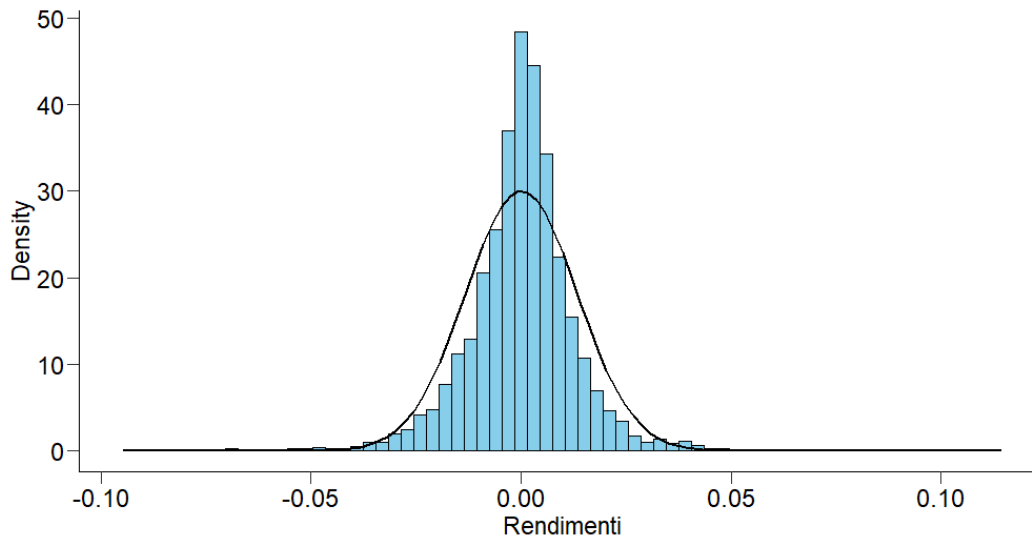


Figura 6: Distribuzione di frequenze relative dei rendimenti logaritmici dell'S&P500 dal 1998 al 2013.

Come menzionato, il test ADF ha insistito su diversi segmenti temporali e attraverso la seguente coppia di ipotesi:

H_0 : La serie presenta una radice unitaria, ovvero è non stazionaria

H_1 : La serie non presenta una radice unitaria, ovvero la serie è stazionaria

I risultati del test possono essere interpretati in base al valore del p-value ottenuto. L'ipotesi nulla H_0 implica che la serie sia essenzialmente disordinata, con evoluzione stocastica; l'ipotesi alternativa, dal canto suo, esprime la presenza di stazionarietà, facoltà che potrebbe suggerire l'esistenza di periodi non esattamente *random*. La soglia critica è collocata al livello del 5%, i valori inferiori sono da considerare significativi. In alcuni casi si riscontrano p-value con significatività marginale ($0.05 < p\text{-value} < 0.10$).

La prima serie di test è stata eseguita sugli intervalli temporali di 50 giorni, per la precisione su 76 intervalli, ed è possibile rigettare l'ipotesi di non stazionarietà in tutti gli intervalli temporali che difatti esibiscono un p-value inferiore alla soglia di 0.05. La tabella riassuntiva si può esaminare in Appendice 1. A partire da questi risultati, è

stato poi possibile effettuare il test sull'autocorrelazione di Ljung-Box⁵², versione più precisa del test Box-Pierce⁵³, il quale verifica la presenza di autocorrelazione entro un certo numero di lag (ritardi). Il test ha come fondamentale presupposto la stazionarietà della serie storica, ragion per cui si procede solo dopo aver riscontrato significatività nell'ADF. L'ipotesi di autocorrelazione si accetta laddove il p-value risultante dal test sull'intervallo è inferiore alla soglia critica 0.05. La coppia di ipotesi è la seguente:

H_0 : I coefficienti di autocorrelazione sui rendimenti giornalieri sono pari a zero (i.e. non presentano correlazione seriale)

H_1 : I coefficienti di autocorrelazione sui rendimenti giornalieri sono diversi da zero (i.e. presentano correlazione seriale entro un certo numero di ritardi)

L'ipotesi nulla afferma che la correlazione dei valori con valori assunti in istanti precedenti è pari a 0, così che qualunque correlazione rilevata dei rendimenti fino al lag h sia frutto del caso. Al contrario, l'ipotesi alternativa supporta l'implicazione che i rendimenti fino ad un dato ritardo h sono in qualche modo correlati con i rendimenti passati. La statistica test è:

$$Q = T(T + 2) \sum_{k=1}^h \frac{\hat{\rho}_k^2}{T - k}$$

In cui h è il numero di ritardi entro i quali verrà testata la presenza di correlazione. In 8 dei 76 intervalli in cui è stato eseguito il test Ljung-Box, si è riscontrato un p-value < 0.05; è possibile affermare che in questi intervalli esiste una componente di autocorrelazione fino al 25esimo ritardo. La “prevedibilità” si manifesta in circa il 10% delle osservazioni nell'arco temporale prestabilito. In figura 6 ed in figura 7 appaiono due illustrazioni di correlazione seriale riscontrata nei rendimenti qui esaminati. Nel contesto dell'Efficienza di mercato ed in linea con la sua forma debole, i rendimenti non dovrebbero mostrare autocorrelazione, ovvero il passato non può aiutare a prevedere movimenti futuri dei prezzi. Tuttavia, la presenza qui dimostrata di autocorrelazione suggerisce che potrebbe esistere prevedibilità nelle specifiche

⁵² Ljung, G. M., & Box, G. E. P. (1978). On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, 65(2), 297–303. <https://doi.org/10.1093/biomet/65.2.297>

⁵³ Box, G. E. P., & Pierce, D. A. (1970). Distribution of Residual Autocorrelations in Autoregressive-Integrated Moving Average Time Series Models. *Journal of the American Statistical Association*, 65(332), 1509. <https://doi.org/10.2307/2284333>

finestre temporali sulla base dei precedenti 25 giorni. Bisogna tuttavia ricordare che una tale manifestazione non è sufficiente per affermare che il mercato sia inefficiente; affinché esista prevedibilità c'è bisogno di una sistematica e osservabile ripetitività di queste anomalie per trarre conclusioni su pattern rilevanti.

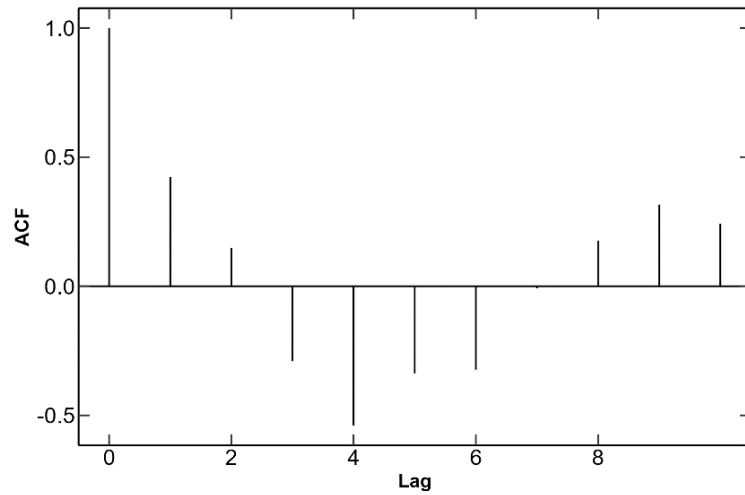


Figura 7: Rendimenti con correlazione seriale ciclica, fino al decimo ritardo.

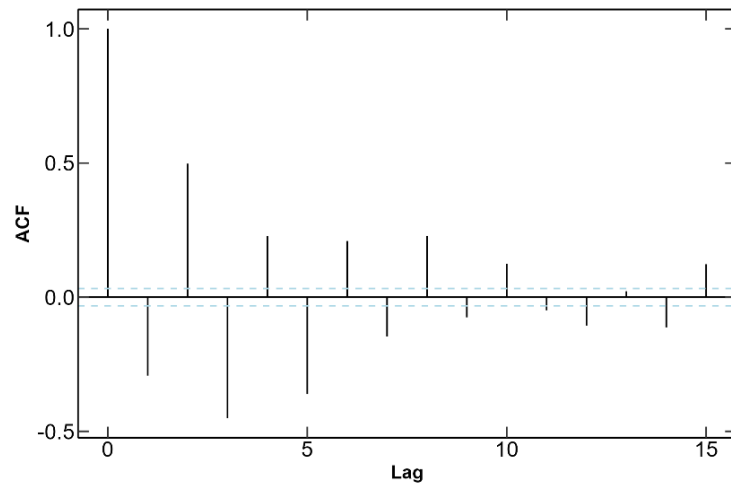


Figura 8: Rendimenti con correlazione seriale negativa, fino al quindicesimo ritardo.

Il successivo test è stato eseguito sugli intervalli a 75 giorni. Il p-value è statisticamente significativo in ognuno dei 51 intervalli, il che consente di rigettare l'ipotesi nulla di non stazionarietà e di avanzare con il test sull'autocorrelazione. Questo ha prodotto una serie di p-value che confermano nuovamente l'idea che in alcuni intervalli si osservi, come da ipotesi su accennata, la formazione di tasche di prevedibilità in cui la correlazione seriale tra rendimenti ne è sintomo. Infatti, in 3 intervalli su 51 si osserva la presenza di rendimenti autocorrelati con un livello di significatività inferiore alla soglia critica del 5%.

Il test è stato poi realizzato sugli intervalli da 100 giorni, ovvero con 100 osservazioni sui rendimenti giornalieri. Dal test ADF emerge che il p-value è inferiore a 0.05, il che indica che possiamo respingere l'ipotesi nulla sulla presenza di radice unitaria, ovvero la serie è stazionaria in 38 intervalli su 38; in base a questo risultato, è stato possibile effettuare il test Ljung-Box sull'autocorrelazione. Il valore soglia rimane il medesimo ed in 5 intervalli di osservazioni è possibile respingere l'ipotesi nulla di non-autocorrelazione, suggerendo l'esistenza di correlazione seriale fino al 25esimo ritardo. Negli stessi intervalli si è reso opportuno eseguire la correzione del test per verificare l'ipotesi di un drift.

La conclusione cui si perviene è che al dilatare gli intervalli temporali includendo un maggior numero di osservazioni, si riduce l'incidenza della significatività del test ADF in quanto bisogna prendere in considerazione il drift. Nei test a 200 osservazioni si inizia ad osservare una costante tendenza a rialzo e a ribasso, a seconda del periodo. Effettuando il test ADF con drift, non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla ed affermare che la serie è stazionaria, ragion per cui non si procede con il test sull'autocorrelazione. Questo porta a concludere che la serie è non stazionaria, presenta una radice unitaria, ed è un random walk, ma con un drift.

È il momento di aprire una parentesi per evidenziare anche il fatto che i test qui eseguiti non riescono a catturare l'intera gamma di fluttuazioni, né sono in grado di descrivere accuratamente i caratteri statistici dei rendimenti. Sarebbe necessario condurre test più approfonditi come ad esempio tramite un modello di Markov-Switching autoregressivo, ovvero a cambiamento di regime; questo tiene in

considerazione l'alternarsi tra diversi stati di espansione e contrazione. Quindi si porrebbe l'attenzione nei riguardi del fatto che le serie storiche finanziarie mostrano cambiamenti nella loro dinamica nel corso del tempo. Nel caso qui preso a campione, i diversi regimi corrisponderebbero alle fasi di ordine (autocorrelazione significativa) contro le fasi di disordine.

Per contestualizzare quanto fino ad ora svolto, è bene evidenziare che gli intervalli qui proposti non sono allineati in modo da incorporare le evidenti distorsioni causate dalle crisi del 1999 e del 2008. È lapalissiano affermare che durante tali periodi il mercato fosse ordinato in fasi dapprima ascendenti e poi discendenti, ed effettuare test sul random walk prima e dopo una bolla speculativa non direbbe granché sulla natura dei movimenti. Questo significa che i test hanno preso campioni temporali arbitrari e scelti per un'analisi calibrata al netto di quei periodi anormali; di conseguenza, le manifestazioni di prevedibilità dipenderebbero da ben altri fattori diversi dal mero sentimento di mercato prevalente. È paradossalmente vero che più il mercato appare in disordine e nel caos sulla base psicologica e più si osserverà ordine, autocorrelazione e stazionarietà nella risultante distribuzione di prezzi e rendimenti. È invece più curioso riscontrare, indipendentemente dal periodo, delle finestre casuali di autocorrelazione tra rendimenti, delle insorgenze sporadiche di ordine. È ciò che si evinceva in Figura 1 e 2, l'emergere di spazi statistici in cui si rilevano anomalie all'imprevedibilità, ma comunque non sufficienti da contrastare l'idea che il mercato sia generalmente imprevedibile.

Per avvalorare l'affermazione che “in media” il mercato non esibisca autocorrelazione, è stato effettuato un ulteriore test sull'autocorrelazione negli intervalli ma con il metodo della *rolling window*. L'arco di tempo dal 1993 al 2013 è stato suddiviso in 76 intervalli da 50 giorni, in ognuno di questi il test sull'autocorrelazione è stato eseguito fino al quinto ritardo, chiudendo la settimana borsistica, e scorrendo la finestra di 5 giorni fino al termine dell'intervallo di 50 giorni. I risultanti p-value in ognuna delle finestre sono raggruppati per estrarre una media, così da conoscere fino a che punto si può considerare mediamente non autocorrelato. In effetti, nell'intera distribuzione consistente in 3800 rendimenti, solamente in 104

casi si osserva autocorrelazione negativa fino al quinto ritardo. I risultati sono riassunti in Appendice 2.

Si rammenta ancora che l'obiettivo di questa analisi non è stato di dimostrare l'efficacia di strumenti predittivi o presumere la possibilità di prevedere il mercato sfruttando tali anomalie perché, se anche così fosse, l'Efficienza di mercato renderebbe nullo ogni tentativo futuro. Ovvero, la ripetizione di tali anomalie è lasciata al caso. La presenza di significatività contro l'ipotesi del random walk era già plausibile, ciò è stato poi confermato dalla presenza, in taluni casi, di autocorrelazione. L'autocorrelazione potrebbe poi indicare un certo grado di prevedibilità ma non implica necessariamente che possa essere costruito un modello che la sfrutti, poiché rimane incognito quando tale autocorrelazione si manifesta, in che forma e per quanto tempo.

Il mercato rimane perciò strutturalmente imprevedibile, incerto, e lo scopo delle previsioni non dovrebbe essere tanto quello di predire il futuro, quanto far prendere decisioni nel presente che siano maggiormente ponderate in funzione della componente di rischio ed incertezza. La fine struttura dei mercati finanziari può in effetti portare alla creazione di prevedibilità, un certo grado di prevedibilità ed autocorrelazione dovrebbe quantomeno esistere per incentivare lo scambio. È stato menzionato nel primo capitolo, le inefficienze sono una necessità strutturale affinché esista l'efficienza informativa. Motivando la successiva analisi in base a queste conclusioni, andremo ad analizzare quali sono i meccanismi psicologici che provocano le anomalie proposte fino ad ora.

Capitolo III

L'Irrazionalità

i. Il Gioco dell'Incertezza

Avendo preso in esame i fattori sovrastrutturali che rendono il mercato imprevedibile, si giunge all'analisi delle forze strutturali a sostegno di una tale caratteristica, rammentando che la principale consiste proprio nella psicologia degli agenti di mercato, nucleo essenziale da cui derivano efficienza e relative anomalie.

È ben testimoniato come gli esseri umani non si comportano seguendo i dettami della ragion pura e della razionalità, e la sfera economica ne è la riprova. La razionalità limitata si esprime favorendo e assecondando la suscettibilità dell'uomo ai più strani influssi emotivi. Il mercato azionario è un perfetto terreno d'analisi proprio perché è un acceleratore di queste caratteristiche, che vengono amplificate fino al punto di causare distorsioni sistemiche, e tutto ciò trova riscontro nell'andamento del prezzo. Nel mercato ci sono interessi in gioco, gli investitori hanno tanto da vincere e da perdere; le promesse di guadagno sono molto allettanti. Quando l'individuo si trova con una tale esca in un ambiente ad elevata incertezza, cade facilmente preda di impulsività, bias e comportamenti irrazionali. Questo perché il mercato assume le sembianze del gioco, con la differenza che le conseguenze sono reali; in più la comodità con cui vi si accede e con cui possono evaporare i risparmi di una vita lo rendono quasi affine al più spietato dei giochi d'azzardo. È inquietante, ad esempio, la facilità con cui attraverso una vendita allo scoperto si può incorrere in perdite virtualmente infinite. Come disse Gozzini, "il casinò di Montecarlo, al confronto, è un monumento di moralità perché al massimo posso perdere tutto (e solo) il denaro che ho cambiato in *fiches*"⁵⁴. E come ogni gioco d'azzardo prevede, esiste un'imponderabile componente di rischio, di alea. La conoscenza del mercato può poi

⁵⁴ Gozzini, G. (2014, May 15). Come cambia la crisi nell'era dei subprime. L'Espresso. <https://espresso.repubblica.it/plus/articoli/2014/05/14/news/come-cambia-la-crisi-nell-era-dei-subprime-1.165370/>

limitare in parte il margine di incertezza ma mai annullarlo completamente, perché quel tipo di sorte è al di fuori del controllo⁵⁵. Caillois insegna che non bisogna confondere il mercato con un gioco, perché sul mercato le conseguenze dei risultati sono realizzate, c'è un ponte con la realtà. “È pericoloso dunque creare applicazioni semplici e stilizzate in modo da apparire ludiche che inducono a prendere l'investimento come un gioco e un intrattenimento dalle spericolate potenzialità.”⁵⁶. Ci ha visto lungo in un'epoca in cui internet non esisteva e in cui la borsa e i mezzi di speculazione erano limitati al mondo analogico. Perché più l'investimento diventa accessibile e più aumenta l'esposizione del mercato alla mediocrità; questo potrebbe essere un deterrente per l'Efficienza. L'accesso indiscriminato e facilitato al mercato da parte di qualsiasi individuo ha una duplice conseguenza sull'Efficienza informativa: da un lato accresce disordine ed imprevedibilità, ma dall'altro cancella completamente l'efficienza basata sulla qualità dell'informazione contenuta nei prezzi, poiché avviene una vera e propria diluzione dell'informazione, con sentimenti vaghi, rumore e, appunto, irrazionalità.

È stato fatto accenno svariate volte a come in un qualsiasi scenario piegato dall'incertezza e dal rischio, l'irrazionalità umana impone la sua tirannia. Tuttavia, il mercato non è ovviamente esposto alla sola componente irrazionale; lo scambio è in media supportato da calcoli e motivi ragionevoli, non è però nella motivazione che interviene l'irrazionalità, quanto più nell'ampiezza della risposta dell'investitore a scenari imprevedibili. Il compito sarà quello di trovare spiegazioni per le anomalie di mercato in questa imperfezione, in primis perché la razionalità perfetta non esiste, ma anche perché è di gran lunga meno interessante. In questo capitolo verranno esplorate le cause e le conseguenze degli elementi di origine irrazionale che pervadono il mercato e gli effetti prodotti sull'efficienza nella razionalità dei prezzi.

⁵⁵ Aime, M. (2016, 28 maggio). Giocare in borsa: azzardo e stregoneria a Wall Street. In Dialoghi di Pistoia – Lezioni e conferenze. Spotify.
<https://open.spotify.com/episode/1ItzDPnftFiEjFKm9iOZ4a?si=DkdjAKt-SwmSCVZk7FrOMg>

⁵⁶ Caillois, R. (1989). I giochi e gli uomini: la maschera e la vertigine. In Bompiani eBooks. Bompiani. <http://biblioteca.figc.it/1214/>

ii. Razionalità Limitata

La visione dell'individuo razionale e calcolatore è oramai svanita, la mitologia attorno al *homo economicus* è stata rimpiazzata da un più realistico soggetto che non massimizza la propria utilità, è incoerente, incostante e logicamente vincolato. Trovandosi davanti ad una serie di scelte, l'individuo non è in grado di prevedere gli esiti di ognuna e scegliere di conseguenza; ragion per cui si tende ad agire in modo da raggiungere un grado di soddisfazione subottimale. Si opta non tanto per la scelta migliore possibile quanto per quella *abbastanza buona*, il principio del “good enough”⁵⁷. L'uomo sarà anche intrinsecamente imperfetto nella sua logica delle scelte ma l'irrazionalità spietata che contraddistingue il campo economico è conseguenza anche della complessità che gli si pone davanti. La razionalità limitata è infatti solo la base di partenza da cui poi derivano comportamenti irrazionali ben più colorati rispetto all'incoerenza; mi riferisco all'influsso di bias cognitivi, eccessi emotivi tra paura, ansia ed ottimismo, mentalità di gregge, rimpianti, e sono solo alcuni esempi di stati mentali che possono alterare la percezione della realtà di un individuo sul mercato.

Sono dinamiche che influenzano in modo diretto e traumatizzante i prezzi di mercato, perché sono poi elevate ad una psicologia non più individuale, ma di massa. Quando poi uno stesso sentimento è presente in una folla psicologicamente attiva, gli effetti sono incontrollabili e destabilizzanti. Il mercato assorbe questo sentimento ed i prezzi di conseguenza. È dalla natura del prezzo come riflesso delle anomalie mentali degli investitori che si innalzano le voci che criticano l'efficienza di mercato. “Se l'efficienza di mercato fosse quotata in borsa, il suo prezzo sarebbe estremamente volatile” fu la frase di Shleifer⁵⁸ per ironizzare sulle numerosissime prove empiriche che dubitano della veridicità dell'ipotesi. Le più importanti critiche all'efficienza non riguardano infatti la predicibilità del mercato, quanto più il controverso aspetto di razionalità dei prezzi. Cioè fino a che punto il mercato come un sistema di formazione

⁵⁷ Sent, E. (2018). Rationality and bounded rationality: you can't have one without the other. *European Journal of the History of Economic Thought*, 25(6), 1370–1386. <https://doi.org/10.1080/09672567.2018.1523206>

⁵⁸ Shleifer, A., & Summers, L. H. (1990). The Noise Trader Approach to Finance. *Journal of Economic Perspectives*, 4(2), 19–33. <https://doi.org/10.1257/jep.4.2.19>

dei prezzi e manifestazione dei sentimenti umani può rimanere razionale? È questa la a cui proveremo a dare risposta.

Abbiamo affermato che il mercato, alla pari degli altri sistemi naturali e sociali, vede un'entropia sempre crescente, che causa l'espansione dell'informazione e deriva dal progresso tecnologico e dal numero di agenti sul mercato. Se poi nel contesto dell'imprevedibilità, l'entropia è utile poiché fa sì che ogni investitore detenga un diverso set di informazioni, nella sfera della razionalità sortisce l'effetto contrario, ovvero distorce. In termini diversi, poiché l'informazione sul mercato cresce sempre, è un flusso ininterrotto, gli investitori razionalmente limitati sono schiacciati dal peso della quantità di dati da analizzare. Questo determina l'insorgere dei bias e delle inefficienze di mercato legate al comportamento degli investitori. Un meccanismo del genere, quindi, da un lato contribuisce all'efficienza informativa come imprevedibilità, ma dall'altro comprime la razionalità del prezzo. Se quindi l'entropia contribuisce a rendere il mercato efficiente dal punto di vista informativo e sotto il profilo dell'imprevedibilità, è anche la forza che tende a far ridurre la qualità dell'informazione contenuta nei prezzi, ovvero l'irrazionalità. È qui definita la sua natura rovinosa.

L'irrazionalità economica è l'agire secondo quanto contrario alla massimizzazione dei propri benefici, è il comportamento che devia dalle decisioni coerenti con la logica economica basate su analisi oggettive e razionali del set informativo a disposizione. L'irrazionalità è una componente subdola ma prevedibile, esistono numerose tecniche per far leva sulla parte del cervello carente di raziocinio. È possibile cioè costruire un'architettura decisionale, ovvero l'ambiente nel quale il soggetto deve prendere una decisione, affinché l'irrazionalità abbia la meglio sulla razionalità. Ad esempio, impostare come opzione di default l'iscrizione degli individui a piani di pensionamento, stressa il bias dello status-quo, secondo cui gli individui adottano un comportamento di tipo inerziale di fronte al cambiamento della configurazione di partenza di un determinato apparato⁵⁹ (smartphone, sistemi pensionistici, donazione di organi, ecc.), anche se cambiare può portare a un beneficio, è questione di pigrizia.

⁵⁹ Martech, A. (2022, August 18). What Is Status Quo Bias and How Does It Affect the Workplace? Wharton Online. <https://online.wharton.upenn.edu/blog/status-quo-bias/>

Dunque, anche l'irrazionalità è generalmente prevedibile ed esistono modelli dell'economia comportamentale formulati per descriverla, sottoporla ad esperimenti e sfruttarla nella vita di tutti i giorni. Tuttavia, quando le caratteristiche individuali si sommano e si osserva non più l'investitore bensì la massa, il mercato, scaturiscono deviazioni ben più grandi ed imprevedibili rispetto a quanto si possa immaginare. L'irrazionalità individuale sarà anche prevedibile in ambienti fatti ad arte e manipolabili, ma sono ambienti sterili; nel mercato qualsiasi parvenza di controllo viene meno. E quindi l'irrazionalità di massa è in fondo ciò che rende imprevedibile il mercato, perché se tutti gli investitori fossero razionali, giungerebbero pressoché alle stesse identiche conclusioni ed il mercato sarebbe noioso e lineare, nonché inefficiente. È poi difficile quantificare l'impatto dell'irrazionalità dell'uomo; tuttavia, abbiamo definito il mercato come mezzo per visualizzare l'impatto e l'evoluzione della psicologia degli investitori e quindi il sentimento di mercato.

La razionalità "bounded" coniata da Herbert A. Simon è un'efficace descrizione dell'uomo come particella decisionale nel mercato, e riassume quello che inizialmente è stato proposto come intermittenza tra razionalità e irrazionalità. La razionalità limitata si pone nel mezzo per definire l'individuo che è solo in parte razionale, e per la parte rimanente è irrazionale. Secondo Gigerenzer & Selten (2002), questa oscillazione tra due estremi si manifesta nei limiti imposti al ricevere, memorizzare, richiamare e trasmettere l'informazione. Appare chiaro come tra i freni strutturali imposti alla trasmissione dell'informazione di mercato spunti anche la natura stessa dell'uomo. Utilizzando l'analogia di un paio di forbici: la prima lama rappresenta i limiti cognitivi, la seconda, invece, la complessa struttura dell'ambiente, del mercato, e l'investitore deve compensare quindi la propria imperfezione semplificando l'informazione attraverso le "riconoscibili regolarità strutturali"⁶⁰. Sono idee utili per questa analisi poiché ci permettono di capire le cause di determinati comportamenti degli investitori, come ad esempio la tendenza a vedere pattern nelle serie storiche, l'analisi tecnica e altre modalità di inferenza, e capire che impatto possono avere sull'efficienza.

⁶⁰ Gigerenzer, G., & Selten, R. (2001). Bounded rationality: The adaptive toolbox. *International Journal of Psychology*, 35, 203–204. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA51756507>

iii. Allucinazioni e Pattern

La prima implicazione dell'Efficienza, anche nella sua forma debole, è constatare l'inutilità dell'analisi tecnica del mercato. L'analisi tecnica è lo studio d'interpretazione delle serie storiche di titoli, indici, valute, ecc. basato sull'idea che sia possibile prevedere l'andamento futuro del mercato a partire dalla storia passata. Non è questa la sede per spiegare le strategie impiegate perché l'interesse sta nel perché venga tanto utilizzata e che effetti produce. Generalmente si basa sull'identificazione di pattern, schemi e indicatori che presagiscono futuri movimenti del prezzo o di trend e cicli ripetibili⁶¹. Si intuisce immediatamente il problema, poiché abbiamo in precedenza trattato la profezia autoavverante, e questo ne è un ulteriore esempio. Se ci sono abbastanza analisti che credono in un determinato trend, ed altrettanti investitori che si fidano degli analisti, allora il trend si verificherà inevitabilmente. Diventa quindi non più una questione di chi ha ragione o dell'effettiva esistenza di trend, quanto di chi riesce a persuadere più individui alla visione di quel trend, affinché diventi reale. L'analisi tecnica è causata da un impasto di fattori psicologici, tra cui due fondamentali, l'eccesso di confidenza ed il bias della rappresentatività. La loro combinazione porta l'individuo investitore ad inferire troppo rapidamente dei pattern significativi per predire il mercato. È una ben documentata tendenza dell'uomo quella di visualizzare schemi e strutture anche laddove non sussistono. È un meccanismo sviluppato per questioni di sopravvivenza, ma diventa patologico se applicato per rendere spiegabile ciò che appare caotico e informe. Si chiama *apofenia* l'attitudine dell'uomo a riconoscere connessioni tra informazioni prive di correlazione logica⁶². Nel mercato accade lo stesso con l'analisi tecnica, il termine inglese è *patternicity*⁶³. È un comportamento contrario al random walk, che esige un'evoluzione del prezzo irregolare e priva di pattern. L'entropia stessa alimenta questo disordine e l'irregolarità delle serie storiche. La tendenza dell'uomo a ricercare

⁶¹ Borsa Italiana. (n.d.-a). Analisi tecnica: definizione, origini e principi fondamentali - Borsa Italiana. <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/analisi-tecnica-definizione.htm>

⁶² Wikipedia contributors. (2023). Apophenia. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Apophenia>

⁶³ Shermer, M. (2008). Patternicity. *Scientific American*, 299(6), 48. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1208-48> Shermer, M. (2008). Patternicity. *Scientific American*, 299(6), 48. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1208-48>

pattern significativi nell'insensatezza è un tentativo di ridurre il rumore, ma che paradossalmente finisce per accrescerlo.

Un esempio di analisi tecnica: poniamo che venga identificato un livello di resistenza di un titolo, ovvero quel punto oltre il quale il prezzo non dovrebbe salire. Sapendo ciò, quando il prezzo si avvicina alla soglia critica, tutti gli individui che credono in questo livello di resistenza venderanno il titolo poiché sanno che non andrà oltre⁶⁴. È in questa fase che dovrebbe innescarsi l'autodeterminazione: il livello di resistenza esiste solamente se abbastanza investitori credono che esista, così da provocare una tempesta di ordini di vendita e frenare la crescita del prezzo. Sembra un'allucinazione di massa, perché si tratta di collocare il livello in modo del tutto arbitrario e convincere più persone possibile. L'analisi tecnica secondo la teoria non dovrebbe quindi produrre risultati evidenti, ma questo formalismo concettuale non interessa ad empiristi e professionisti del settore che spesso vantano rendimenti straordinari, che però rimangono confinati alla loro forma circostanziale e, appunto, empirica. La poca rilevanza degli aneddoti di guadagni tramite analisi tecnica, così come di altre formule oltremodo fantasiose per la ricerca del profitto sui mercati, risiede nel fatto che spesso si tratta solamente di fortuna. La fortuna si intende come una coincidenza di eventi favorevoli, casuali ed esterni alla propria sfera d'influenza. È l'ennesimo bias all'azione: si chiama self-attribution bias, ed è la tendenza ad attribuire esiti positivi e successo alle proprie abilità, mentre gli esiti negativi ed i fallimenti a fattori esterni e contingenti⁶⁵. È una tendenza subordinata all'iperattività degli investitori, utile sempre per l'efficienza informativa. Quindi, al di là del reale funzionamento dell'analisi tecnica, rimane imponderabile la sua utilità per l'efficienza poiché è uno degli altri fattori di "irrazionalità" che spingono a scambiare e ad integrare l'informazione. Se non esistessero gli analisti tecnici, non esisterebbe l'efficienza in forma debole, e l'informazione passata non sarebbe già implicita nei prezzi correnti.

⁶⁴ Malkiel, B. G. (1973). *A Random Walk Down Wall Street*.

⁶⁵ Hoffmann, A. O. I., & Post, T. (2014). Self-attribution bias in consumer financial decision-making: How investment returns affect individuals' belief in skill. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 52, 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2014.05.005>

L'efficienza di mercato presuppone anche l'inutilità dell'analisi fondamentale, ovvero quella improntata alla ricerca del valore detto fondamentale di una società quotata, il valore intrinseco deducibile dalle sue esistenze tangibili e intangibili. Il valore viene poi messo a confronto con quello "stabilito" dal mercato per determinare se conviene comprare o vendere il titolo. È questa la fase che si reputa imperativa ai fini di determinare la razionalità del prezzo di mercato e che, secondo il vigore dell'efficienza, dovrebbe essere sempre prossimo a quanto deducibile dai fondamenti della società quotata. Si tratta in questo caso, comunque, di una ricerca soggetta alla più creativa arbitrarietà dei contabili, dato che una società è composta da centinaia di componenti materiali ed immateriali. È molto difficile stabilire, ad esempio, quale sia il valore di un mucchio di relazioni, a differenza di un edificio o di un brevetto, e molto probabilmente se si chiedesse di stimare il valore di uno stesso elemento in bilancio ad una serie di analisti fondamentali, ne verrebbe fuori un'intera tavola pitagorica. Le grandi critiche all'efficienza di mercato infatti gravitano proprio attorno all'idea che il mercato si sia rivelato stabilmente incapace di mantenere il livello del prezzo vicino ad un valore intrinseco della società, ma dubbie rimangono le formule adottate per stabilire questo valore⁶⁶.

È ovvio poi che gli analisti tecnici e fondamentali debbano credere che il mercato sia inefficiente, ma solamente in parte e quando risulta comodo. Se essi ricercano il valore fondamentale, o un qualsivoglia trend nascosto, devono credere che l'attuale prezzo di mercato si scosti dal reale o razionale; tuttavia, affinché la loro strategia risulti funzionante, il mercato deve diventare efficiente solo dopo che essi sono venuti a capo della loro ricerca, affinché possa incorporare l'informazione rilasciata dalle loro tecniche analitiche o in alternativa correggersi spontaneamente per far ottenere loro il guadagno per ripagare gli sforzi. Queste tecniche non funzionano nella stragrande maggioranza dei casi per un semplice, quanto efficace, assunto logico: se anche venisse identificata un'anomalia o uno scostamento dal valore risultante dai calcoli fondamentali non si potrebbe comunque avere certezza che gli altri nel mercato se ne accorgano, o più nello specifico, che credano sia effettivamente così! La correzione di

⁶⁶ Malkiel, B. G. (2016). *A Random Walk Down Wall Street: The Time-tested Strategy for Successful Investing*. W. W. Norton.

un'anomalia basata su un disallineamento tra prezzo "fondamentale" e prezzo corrente richiede la spinta simultanea di moltissimi ordini di mercato. Se il mercato tracolla ed un singolo investitore ritiene che lo shock sia ingiustificato, questo potrà avere anche tutti i fondamentali a supporto ma se il mercato crede che il valore di un titolo sia inferiore, questo cadrà. Questa spirale è poi amplificata dal conformismo che suole influire nel comportamento di molti investitori. Prima dello scoppio della bolla nel 2008, ci sono voluti mesi ed anni per convincere il mercato dei suoi errori. Paura e ignoranza si alternano, e si ha la tendenza non solo a seguire la massa, ma anche a pensare che la massa e la maggioranza, abbiano informazioni superiori.

iv. Autodistruzione delle Anomalie e Bolle Speculative

In altri casi invece è diverso, vi è l'idea che queste anomalie passino per un rapidissimo meccanismo di autodistruzione. Il bias cognitivo e l'euristica sono errori individuali, su scala microscopica; le anomalie di mercato invece, le bolle speculative ad esempio, sono errori su larga scala, la sovrapposizione di minuscoli errori individuali, indipendenti o frutto dello stesso fenomeno. Era questo il meccanismo citato tra le non linearità nel precedente capitolo e nella descrizione di sistema complesso: nel caso dei periodi di crisi è proprio l'enormità delle piccole dinamiche a determinare le grandi deviazioni. Il fatto che ci sia una così grande quantità di investitori diversi, e che non è sempre l'irrazionalità a prevalere, fa sì che il mercato corregga immediatamente le anomalie, una significativa porzione di mercato si alimenta dei comportamenti irrazionali altrui. Nel momento stesso in cui viene rilasciata l'informazione sulla sopravvalutazione di un asset o qualsiasi altra anomalia di piccola-media entità, le forze di mercato spingeranno alla correzione e si ritornerà in equilibrio; le anomalie e le previsioni di profitto basate su di esse si autodistruggono. Quindi si può affermare che in media vi sarà sempre una certa efficienza in merito al set informativo contenente le piccole anomalie. Il problema sorge, come sempre, nei momenti di crisi e se questi possono essere la confutazione definitiva dell'efficienza e razionalità dei prezzi.

Durante i periodi di *ride* di bolle speculative, e poi nei periodi di crisi che seguono lo scoppio della bolla, si osservano interessanti dinamiche da prendere in considerazione. È stato in precedenza posto un dilemma di accesa disputa tra gli economisti circa le caratteristiche di un mercato in queste fasi effervescenti. Lo studio sulla efficienza e razionalità dei prezzi va condotto soprattutto in queste occasioni perché come è noto, maggiore è l'improbabilità dell'evento e maggiore è l'informazione che apporta. Da un lato vi è l'idea che la crisi renda il mercato inefficiente, dall'altro invece l'idea che la fase di crisi è una condizione necessaria per correggere, ad esempio, le inefficienze causate dall'espansione di una bolla. Si può rammentare che credere che il mercato sia inefficiente è paradossalmente necessario affinché esista propensione allo scambio, che garantisce liquidità, stabilità ed efficienza del sistema. Distinguiamo nuovamente le variabili critiche di questa analisi: efficienza informativa, imprevedibilità e razionalità nei prezzi. Durante una fase di galoppante crescita, sia essa una bolla o meno, così come una fase di crisi, derivante dallo scoppio della bolla o da fattori esogeni, il mercato è generalmente inefficiente. Gli investitori tendono ad essere eccessivamente ottimisti o pessimisti nel breve periodo, scambiano freneticamente, si aggiornano sulle notizie e scambiano in modo informato, sono i tratti comuni dei periodi di crisi e di prosperità. Queste caratteristiche degli investitori causano l'iniezione di parecchia informazione sul mercato, ma il problema sta sempre nella qualità dell'informazione. Il mercato sarà efficiente dal punto di vista informativo, ovvero l'efficienza nell'informazione esiste laddove esistono quei catalizzatori sociali ed economici che spingono ad operare in modo frenetico. Non si avrà efficienza però in termini di imprevedibilità. È ben evidente, infatti, come durante queste fasi si osservi una non trascurabile propensione del mercato a mantenere il proprio andamento, con rendimenti generalmente autocorrelati⁶⁷, crisi di liquidità, maggior probabilità di asimmetrie informative in vista di interventi del governo⁶⁸, e così via. Rimane discutibile anche la razionalità del prezzo, perché è stato anche affermato che gli investitori durante una crisi o un *ride*

⁶⁷ Shiller, R. (1984). Stock Prices and Social Dynamics. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2:, 457–510. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/1984/06/1984b_bpea_shiller_fischer_friedman.pdf

⁶⁸ Mishkin, F. S. (1990). Asymmetric Information and Financial Crises: A Historical Perspective. <https://doi.org/10.3386/w3400>

speculativo tendono ad accettare prezzi non realmente rappresentativi, sia più bassi che più alti, e cioè esistono distorsioni nel sistema di formazione dei prezzi. Questo però non altera comunque il meccanismo di integrazione di informazione, che a causa dell'entropia entropia, rimane indiscutibile. Si potrebbe pensare quindi che il mercato non formi mai un prezzo razionale perché sia che ci si trovi in periodi di oscillazione sinusoidale sia in tempi di crisi o di boom, vi sarà sempre qualche fattore a scollare il prezzo di mercato da quel valore oggettivo. Per approfondire le implicazioni di questa irrazionalità, proveremo ad ereditare alcune idee dalla teoria della riflessività.

v. L'impatto dell'Irrazionalità: Teoria della Riflessività

L'intero processo di iniezione dell'informazione culmina e termina nella formazione di un prezzo. Il prezzo è stato definito come un prodotto che raccoglie tutte le diverse interpretazioni del mercato. Questa sua natura da parafulmine servirà per comprendere l'influenza delle tensioni e dell'esuberanza che gli investitori scaricano sul mercato. Per far ciò verrà sfruttata la Teoria della Riflessività, formulata da George Soros, che afferma che il modo in cui gli individui interpretano e percepiscono la realtà finisce per influenzare strutturalmente la realtà stessa⁶⁹. In altri termini, gli individui interpretano le informazioni ed in base alla loro interpretazione influenzano il valore del mercato in un ciclo retroattivo ed autorafforzante che allontana i prezzi da un equilibrio⁷⁰. Autorafforzante perché l'apparenza del mercato è prodotto cumulativo delle diverse interpretazioni degli individui. Sappiamo che la massa di investitori è estremamente eterogenea e differisce per aspettative, aversità al rischio, credenze, orizzonte temporale, ecc., di conseguenza la loro percezione del mercato, poniamo di un prezzo P, è altrettanto eterogenea. Dal momento che la percezione determina il prezzo, ogni investitore scambierà ad un prezzo diverso. Il fulcro essenziale di questa teoria sta nel presupposto che gli investitori basano le proprie decisioni su una erronea comprensione dei fatti, sull'imperfezione delle proprie analisi, su aspettative

⁶⁹ Davis, J. B., & Hands, D. W. (2018). *Reflexivity and Economics: George Soros's theory of reflexivity and the methodology of economic science*. Routledge.

⁷⁰ Soros, G. (2009, October 27). Soros: General Theory of Reflexivity. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/0ca06172-bfe9-11de-aed2-00144feab49a>

irrazionali e sulla sottovalutazione dell'incertezza. Questo causa l'alterazione dei prezzi che appaiono sempre diversi e che stimolano gli investitori a contro-interpretare il nuovo stadio di mercato che poi a sua volta influenzerà l'aspetto e la forma del sistema. Proseguendo così in un ciclo composto da disequilibri, o equilibri dinamici. Questo è il ciclo rafforzativo, non viene offerto un prezzo informato ma un prezzo *intuitivo*, e l'intuizione può essere tanto geniale quanto fallace in modo straordinario, così che il sistema devia per questa influenza. È analogo alla stessa situazione menzionata in precedenza quando si cerca di prevedere un sistema in cui la previsione stessa altera il sistema: la comprensione del mercato, finalizzata nella formazione di un prezzo, viene alterata dalla percezione stessa.

La finanza comportamentale e la teoria della riflessività possono essere adoperate per misurare gli effetti dell'errore umano sul sistema finanziario. Un errore determina una somma ben più grande ed esagerata. Ovvero, un singolo evento viene recepito dagli investitori, analizzato e rilasciato in forma diversa. Questo processo di reinterpretazione, caratterizzato da una serie di errori individuali, produce una risposta collettiva all'evento che risulta sproporzionata rispetto ad una reazione più oggettiva. Questo è quello che si intende quando si parla di mercato *overreactive*, ossia la estrema reattività del mercato alle notizie. Questo comportamento porta con sé un implicito confronto con ciò che si considera come reazione appropriata o proporzionale, nonché più razionale. Per *overreaction*, o reazione eccessiva, si fa riferimento alla tendenza degli individui a sopravvalutare l'impatto e l'importanza delle notizie, specialmente le più recenti e nuove⁷¹. Questo meccanismo, apparentemente insignificante su scala ridotta, assume un effetto amplificato su scala più ampia. La sindrome caotica si osserva in questo, nella complessità che si produce in aggregato come somma di tutte le singole reazioni diverse degli investitori. Tuttavia, la mente umana è simile in molti aspetti e l'interpretazione può portare a conclusioni simili, anche perché il mercato è in questo senso dicotomico, vendi o compra. E l'effetto cumulativo più drammatico si verifica quando il loop di autorafforzamento prende vigore dall'uguaglianza delle interpretazioni. Quando cioè, in media, prevale tra gli investitori informati un

⁷¹ Werner F. M. De Bondt, & Thaler, R. (1985). Does the Stock Market Overreact? *The Journal of Finance*, 40(3), 793–805. <https://doi.org/10.2307/2327804>

sentimento troppo positivo o negativo, tale da non essere bilanciato dallo scambio opposto degli investitori non informati. La teoria della riflessività descrive proprio questa reazione a catena, che è la fonte dei fenomeni non lineari di mercato. In situazioni in cui la massa di investitori è d'accordo su un fenomeno specifico, l'eterogeneo annega nell'omogeneo e gli eventi più semplici ed ordinari si trasformano in movimenti estremi e significativi. L'essere umano è parte del sistema complesso di mercato di cui cerca di scandire i ritmi, ma poiché il mercato è composto principalmente da decisioni umane, contiene anche le conseguenze dei loro errori che determinano l'andamento che in primo luogo si cercava di comprendere. È il problema del sistema autoreferenziale; non si può analizzare in modo oggettivo un sistema se questo riflette anche l'analisi che si sta conducendo sul sistema medesimo, è stato menzionato già in precedenza. Questo è dunque l'impatto dell'irrazionalità e si osserva semplicemente nel prezzo che sarà sempre perennemente irrazionale. Il fallimento dell'ipotesi dei mercati efficienti sta in questa singolarità. Non esisterà mai un prezzo razionale, da un lato perché il mercato è l'estensione di un essere irrazionale e dall'altro perché non è possibile relativizzare il prezzo corrente rispetto ad un altro valore più oggettivo o fondamentale.

La riflessività si rivela utile come estensione dell'ipotesi dei mercati efficienti poiché offre una prospettiva più dinamica sul rapporto tra prezzo e investitori. L'investitore osserva il set di informazione Ω e per un difetto mentale lo interpreta erroneamente, il sistema di prezzo assorbe questo errore e cambia di conseguenza. Poiché l'individuo non è singolo, la somma di tutti i diversi errori dà una forma nuova al sistema, che a sua volta verrà reinterpretato in modo diverso. In questo loop, il prezzo attuale è il punto di convergenza tra la causa e l'effetto della distorsione e che genera continui disequilibri. Tuttavia, è proprio questa assenza di equilibrio a conferire al mercato la sua natura resiliente ed elastica. Se al contrario il mercato fosse sempre in equilibrio, ovvero i prezzi fossero considerati sempre corretti, pienamente informati e supportati da una razionale interpretazione dell'informazione, il mercato non esisterebbe.

Per capire cosa accadrebbe in un mercato in equilibrio, immaginiamo la situazione da una prospettiva della Teoria dei Giochi. Questa si basa sull'armonia decisionale

degli operatori e sul raggiungimento di un equilibrio che vada bene a tutti i giocatori; la stessa meccanica si applica alla creazione e trasmissione di informazione nel mercato. L'attività è quella di creazione di un prezzo per incorporare l'informazione sul mercato ed i movimenti dipendono da questa attività. I payoff sono dati dal guadagno derivante dall'agire più rapidamente degli altri nel trovare e sfruttare l'informazione, ma la probabilità che ciò accada è bassa. Dunque, se un investitore ragiona in questi termini, ovvero immaginando che già gli altri investitori faranno il lavoro, si potrebbe semplicemente investire nel mercato e guadagnare sul lavoro altrui. È una particolare forma di apatia razionale: qual è l'effettiva probabilità che il singolo investitore sappia più degli altri, e vale la pena sacrificare risorse per cercare l'informazione? Il problema sorge nel momento in cui *tutti* gli investitori la pensassero così. È stato già dimostrato come l'uniformità di aspettative porta al collasso del mercato e questo è il motivo. È una questione di non fare quello che non si vuole venga fatto anche dagli altri; è il solito paradosso dell'efficienza.

vi. Psicologia di Massa: Suggestione e Anonimità.

All'inizio di questo testo è stato menzionato come il mercato sia esposto alla componente psicologica e nella seconda parte come questa componente non si limiti ad agire su scala individuale, bensì prenda forza e vigore quando agisce sull'intera massa degli investitori. Il mercato è un sistema complesso e questa complessità deriva, da un punto di vista funzionale, dal fatto che la struttura è in fin dei conti una folla di individui psicologicamente attivi. Per LeBon, una folla psicologica è quell'assembramento di individui che per il solo motivo di trovarsi riuniti in gruppo agisce per sentimenti estremi, è irrazionale, risponde a fattori stimolanti immediati ed è dominato dal contagio e dall'imitazione⁷². Questi caratteri latenti fioriscono solo nel momento in cui un fattore comune fa da nucleo di condensazione per i diversi individui, affinché si riuniscano e le stesse sensazioni positive o negative sincronizzino il comportamento. La folla non deve poi essere necessariamente condensata in uno

⁷² Bon, G. L. (2021). Psicologia delle folle. Tea.

stesso ambiente fisico (folla compatta) ma può essere anche una folla separata e dispersa⁷³. Contestualmente, il mercato è l'ambiente che riunisce individui con lo stesso fine, sia esso la speculazione o la salvaguardia del capitale a seconda del trend, ed i cicli macroeconomici di forte crescita (bolla) o la crisi sono il catalizzatore che provoca l'aggregazione. Ci sono una serie di meccanismi che operano simultaneamente e per spiegare come opera la psicologia di massa nel mercato, verranno considerati due diversi stati mentali: il dualismo tra suggestione e conformismo, e l'anonimità.

Il primo elemento è quello che si esprime in un fenomeno bipartito tra conformismo e suggestione. La differenza pratica tra i due risiede nella volontà dell'atto, da un lato, il conformismo deriva *anche* da una scelta razionale, pensata e voluta; la suggestione, invece, è quel meccanismo secondo cui vi è un'accettazione passiva di un'idea ed è il propulsore della mentalità del gregge che spinge a lasciarsi ipnotizzare e trasportare dalla maggioranza. In questo caso, ai fini dell'analisi, le due componenti verranno intese come sinonimi, a breve sarà chiaro il motivo. Per comprendere, si può esaminare la dinamica mentale durante una bolla speculativa. La suggestione e la logica del gregge non sono errori, non sono azioni singolarmente irrazionali, perché è perfettamente razionale conformarsi a quello che fanno gli altri. Quindi quello che in primo luogo agisce come suggestionabilità a tendenze, sentimenti altrui, ecc. finisce per diventare conformismo alla suggestione stessa; ovvero il singolo agente imita il comportamento determinato dalla suggestione iniziale; eventualmente, il mercato presenta un comportamento globale che si separa dalla volontà iniziale dei singoli investitori. Se tutti immaginano, o addirittura sono consapevoli, di essere nel mezzo di una bolla speculativa, poiché nessuno davvero sa quando questa scoppierà, la scelta più razionale è quella di seguire il mercato⁷⁴. Il comportamento del gruppo in aggregato è, quindi, l'elemento irrazionale; è stato anche osservato come l'aggregazione dei tanti caratteri individuali fa emergere caratteri nuovi; in questo

⁷³ Lofland, J. (1985). *Protest : Studies of Collective Behaviour and Social Movements* (1st ed.) [EBook]. *Routledge*. <https://www.routledge.com/Protest-Studies-of-Collective-Behaviour-and-Social-Movements/Lofland/p/book/9780887388767>

⁷⁴ Brunnermeier, M. K., & Brunnermeier, M. K. (2001). *Asset Pricing Under Asymmetric Information: Bubbles, Crashes, Technical Analysis, and Herding*. *Oxford University Press on Demand*.

caso, l'irrazionalità di massa. Sembra infatti controintuitivo pensare che la somma di singoli comportamenti razionali dia origine ad una folla irrazionale, ma è quello che accade quando una tendenza prende piede e in cui in realtà è il sistema stesso a diventare irrazionale. È così perché sapendo che il mercato andrà giù, qualora non vi fosse reale motivo, sapendo che continuerà ad andar giù, è razionale adeguarsi vendendo i propri titoli e assecondare la tendenza. Quindi non è tanto irrazionale il fine, ma è irrazionale il mezzo. Nella massa di investitori quindi l'elemento predominante è la tendenza a farsi suggestionare; l'altro elemento critico è la virulenza delle azioni; il contagio è frutto di imitazione o di influenza. È una caratteristica naturale dell'essere umano quella di essere permeabile a segnali forti e a farsi influenzare dalle emozioni altrui. Il contagio è efficace poiché forma la struttura di moltiplicazione che crea e spiega l'orientamento del mercato in direzioni non realmente volute dai singoli investitori. Questo accade sia nel caso delle crisi che delle bolle speculative, eventi che hanno una forte tendenza a conservare il proprio moto, ed una volta innescata la reazione la suggestione diventa esuberanza. Lo stesso contagio basato sul panico è quello che agisce sulla mente dei risparmiatori durante una corsa agli sportelli, capace di far crollare anche la più solida delle banche. È l'esuberanza irrazionale⁷⁵, il panico diffuso degli azionisti o la voga per le criptovalute. Sono innumerevoli i fenomeni che manifestano questa particolare modalità di svolgimento, il *collective behavior*. I modelli Agent-Based⁷⁶ sono quelli che vedono gli investitori, o altre entità che operano sul mercato, come punto in una rete il cui comportamento macroscopico può portare ad esiti non realmente voluti o previsti dai singoli agenti, e serve proprio a studiare questi scenari.

Il secondo fenomeno che esemplifica il carattere dell'uomo nella folla è quello dell'anonimità e nel mercato diventa l'azzardo o rischio morale. Lo stesso LeBon afferma che un individuo immerso in una folla può sperimentare la sensazione di essere anonimo rispetto al tutto⁷⁷. Un sentimento del genere porta solo ad una

⁷⁵ Shiller, R. J. (2016). *Irrational Exuberance: Revised and Expanded Third Edition*. Princeton University Press.

⁷⁶ Agent-Based Modeling. (2022, October 3). *Columbia University Mailman School of Public Health*. <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-meth>

⁷⁷ Bon, G. L. (2021). *Psicologia delle folle*. Tea.

conseguenza: la non piena internalizzazione delle conseguenze delle proprie azioni. Questo significa che un individuo reso anonimo dalla numerosità del gruppo in cui si trova, o da qualsiasi altro motivo, tenderà ad esibire comportamenti più estroversi e rischiosi rispetto al solito⁷⁸. Il tratto di somiglianza di questa descrizione col fenomeno dell'azzardo (o rischio) morale è nitido e affascinante, e risiede nel processo di deresponsabilizzazione. Perché è esattamente ciò che sperimenta il manager o l'investitore che gestisce l'altrui capitale, ovvero quando egli incorre nell'anonimità delle proprie scelte perché mascherate dal ruolo sociale che ricopre. Ed è una anonimità patrimoniale, che nasconde la responsabilità. Significa che colui che è esente dal contraccolpo economico delle proprie scelte, tenderà ad assumere comportamenti più rischiosi; il senso di responsabilità e di sopportazione delle conseguenze delle proprie azioni sono diluiti quando ci si trova in un gruppo capace di mascherare il singolo atto. È possibile tracciare un altro collegamento con una dinamica interessante sempre in caso di crisi. La sola possibilità che ci sia un Governo disponibile per un bail-out ad una banca in caso di fallimento è un messaggio alla banca per dire di imbarcare attività ad alto profilo di rischio, poiché le conseguenze potenzialmente dannose delle loro decisioni troveranno sfogo su risorse altrui. La grandezza della banca sfuma i contorni del senso di responsabilità dei propri dirigenti e le conseguenze del comportamento disinibito dalle ripercussioni personali sono abbastanza significative.

Le due tendenze appena descritte sono esempi di come il mercato esibisca caratteristiche di massa ben più esasperate ed influenti rispetto a come si presentano individualmente. All'inizio di questo testo è stato infatti accennato di come il mercato sia un meccanismo amplificatore e che quando l'irrazionalità è il sentimento che prende forza da questa amplificazione, il mercato si allontana dall'efficienza. Se quindi non potrà mai essere afferrato un prezzo che rifletta realmente il valore intrinseco, si evince necessaria la rivisitazione della definizione di efficienza. Alla luce di queste conclusioni, è ragionevole affermare che la definizione di efficienza dovrebbe staccarsi dal concetto di prezzo o valore intrinseco, poiché un prezzo razionale è un

⁷⁸ The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2016, May 5). Moral hazard | society. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/topic/moral-hazard>

prezzo che nonostante l'irrazionalità del mercato, riesce ad incorporare tutte le informazioni disponibili, creando un valore significativo e da considerare quasi come assoluto in qualunque istante. Significa che non è necessariamente vero che la maggioranza abbia sempre ragione nell'attribuire valore, ma piuttosto che per come il mercato si fonda, è la maggioranza a creare il valore, rappresentato dalla totalità delle interpretazioni soggettive dei partecipanti. In questo modo, il mercato diventa il mezzo più oggettivo possibile per valutare un asset, poiché incorpora tutte le possibili interpretazioni del suo valore.

vii. Stato Attuale dell'Efficienza e Mercato Intelligente

Da quanto esposto sinora, appare chiaro che è proprio il modo in cui il mercato è costruito ad essere la causa stessa delle anomalie riscontrate nei dati empirici. È un'estensione della mente dell'uomo ed in quanto tale incorpora ogni suo errore. Un tratto comune permane, e consiste nel fatto che il valore di un qualsiasi titolo in borsa è relativo, non assoluto, e questa relatività dipende solo ed esclusivamente dalla maggioranza, dal sentimento prevalente, dalla moda e dalle convinzioni. È tutto frutto dell'interazione umana, sia l'imprevedibilità e che la prevedibilità. L'ultima questione che si solleva ora è per domandarsi cosa accadrebbe alla *Market Efficiency* se l'uomo venisse pienamente sostituito da macchine ed algoritmi nell'azione di scambio. Si osserverà un incremento della qualità e quantità dell'informazione contenuta nei prezzi; si potrà affermare che il prezzo sarà allora assoluto ed oggettivo? Sicuramente le anomalie basate sul *market sentiment* saranno sempre meno frequenti poiché i computer possono analizzare quantità di dati molto più elevate rispetto all'uomo, nonché essere resistenti alle emozioni. Sarebbe un mercato veloce, liquido, preciso e monitorato⁷⁹. È un'evoluzione plausibile ma il substrato delle funzioni di flusso di capitali e speculazione rimane incorrumpibile, è la forma in cui si manifestano che potrebbe cambiare, e la competizione non sarebbe all'informazione ma alla potenza di calcolo. Sarebbe interessante testare l'efficienza di un mercato privo di investitori

⁷⁹ Brogaard, J., Hendershott, T., & Riordan, R. (2014). High-Frequency Trading and Price Discovery. *Review of Financial Studies*, 27(8), 2267–2306. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhu032>

umani e formato da sole macchine istruite alla lettura di segnali e notizie, all'interpretazione per parole chiave delle notizie e al trading sulla base di quelle informazioni. Sarà questo più efficiente del mercato "umano"?

Trasmettere però il messaggio che il mercato sia super efficiente può far pensare che questo sia sempre corretto e non sbaglia mai. Ovviamente non è così perché il mercato può sbagliare, ma l'interrogativo è se sbaglierebbe anche laddove non vincolato alle scelte dell'uomo, qualora in un futuro fosse strutturato e mantenuto esclusivamente dall'intelligenza artificiale. Sono noti i problemi causati dagli algoritmi che sondano il mercato alla ricerca di opportunità di profitto e ci sono rischi legati ad un tale fenomeno, tra questi i noti flash crash⁸⁰. O ancora cosa accadrebbe se gli algoritmi di trading iniziassero a "comportarsi" tutti allo stesso modo, a seguire una tendenza riscontrabile nei dati? Forse anche l'intelligenza più artificiale e sintetica che ci sia potrebbe iniziare a comportarsi come un umano se sottoposto alle stesse condizioni di rischio e incertezza.

⁸⁰ Eholzer, W., & Roth, R. (2017). The Role of High-Frequency Trading in Modern Financial Markets. In *The Journal of Portfolio Management*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45848-9_12

Conclusione

Il quadro complessivo che emerge da questo studio si può riassumere in un'ultima serie di affermazioni. Si è aperto il discorso definendo il mercato come un aggregato dinamico ed emergente di un gran numero di investitori, il cui funzionamento ed evoluzione trascende la conoscenza individuale e le azioni microscopiche. Questo poi esibisce il comportamento emergente sottoforma di entropia, efficienza di mercato, e sincronizzazione degli investitori durante crisi e bolle speculative. È stata introdotta l'entropia come quella forza spontanea e inevitabile che provoca risonanza e diffusione dell'informazione nel mercato attraverso gli investitori. La trasmissione opera come onde: più fonti emettono l'informazione e più sarà elevato l'impatto sul prezzo; meno fonti la emettono e più rumore e diversità si genera. Ed il numero di "fonti" dipende dalla rarità dell'evento. L'efficienza di mercato rispetto ad un set informativo si raggiunge grazie all'entropia. L'efficienza, infatti, è uno stadio di equilibrio in cui il prezzo non può più variare sulla base di quell'informazione. Le implicazioni dell'efficienza di mercato portate avanti durante il testo sono l'imprevedibilità e la razionalità dei prezzi; entrambe sono soggette ad anomalie, nonché a difficile modellizzazione sistematica, tuttavia, si possono trarre alcune conclusioni immediate e sostanziali. Il mercato è in media imprevedibile ma presenta tasche in cui si verificano fasi di prevedibilità, ordine, sincronizzazione degli investitori con rendimenti correlati e non stocastici, come è stato appurato nella Sezione viii. La razionalità del prezzo, invece, è una condizione impossibile da verificare poiché non esiste un parametro assoluto con cui confrontare il prezzo di mercato per valutarne la correttezza. A ciò consegue direttamente che il mercato è il miglior strumento di valorizzazione degli asset, nonché il più oggettivo, poiché è quello che include il maggior numero possibile di punti di vista, le anomalie e gli errori umani fanno parte del gioco e non si può pretendere di osservare Efficienza perfetta in un sistema imperfetto.

Bibliografia

- Agent-Based Modeling. (2022, October 3). *Columbia University Mailman School of Public Health*. <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-meth>
- Aime, M. (2016, 28 maggio). Giocare in borsa: azzardo e stregoneria a Wall Street. *In Dialoghi di Pistoia – Lezioni e conferenze*. Spotify.
- Ariely, D. (2010). Predictably Irrational, Revised and Expanded Edition: The Hidden Forces That Shape Our Decisions. *Harper Collins*.
- Baierlein, R. (1999). Thermal Physics. *Cambridge University Press*.
- Bekaert, G., Harvey, C. R., & Lundblad, C. T. (2007). Liquidity and Expected Returns: Lessons from Emerging Markets. *Review of Financial Studies*, 20(6), 1783–1831. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhm030>.
- Bon, G. L. (2021). Psicologia delle folle. *Tea*.
- Bormetti, G., Montagna, G., Treccani, M., & Moreni, N. 10. Complessità e i voli di Lévy. *Scienza per Tutti*. Retrieved May 21, 2023, from <https://scienzapertutti.infn.it/10-complessita-e-i-voli-di-levy>
- Borsa Italiana. (n.d.-a). Analisi tecnica: definizione, origini e principi fondamentali - *Borsa Italiana*. <https://www.borsaitaliana.it/notizie/sotto-la-lente/analisi-tecnica-definizione.htm>
- Box, G. E. P., & Pierce, D. A. (1970). Distribution of Residual Autocorrelations in Autoregressive-Integrated Moving Average Time Series Models. *Journal of the American Statistical Association*, 65(332), 1509. <https://doi.org/10.2307/2284333>

- Brogaard, J., Hendershott, T., & Riordan, R. (2014). High-Frequency Trading and Price Discovery. *Review of Financial Studies*, 27(8), 2267–2306.
<https://doi.org/10.1093/rfs/hhu032>
- Brunnermeier, M. K., & Brunnermeier, M. K. (2001). Asset Pricing Under Asymmetric Information: Bubbles, Crashes, Technical Analysis, and Herding. *Oxford University Press on Demand*
- Caillois, R. (1989). I giochi e gli uomini: la maschera e la vertigine. *In Bompiani eBooks. Bompiani*. <http://biblioteca.figc.it/1214/>
- Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997). The Econometrics of Financial Markets. *Princeton University Press*
- Constructive and Destructive Interference. *Study.com*. (n.d.).
<https://homework.study.com/explanation/explain-the-constructive-and-destructive-interference-of-waves-and-the-conditions-required-to-observe-a-two-source-interference-pattern.html>
- David Eagle & Arsen M. Djatej & Robert H.S. Sarikas & David Senteney, 2010. "The indexing paradox: be thankful for irrational analysts," *International Journal of Monetary Economics and Finance*, Inderscience Enterprises Ltd, vol. 3(4), pages 374-393.
- Davis, J. B., & Hands, D. W. (2018). Reflexivity and Economics: George Soros's theory of reflexivity and the methodology of economic science. *Routledge*
- Diani, S. (2021). Sistemi complessi: cosa sono e perché ci riguardano. *Sara Diani*.
<https://saradiani.com/sistemi-complessi-cosa-sono-1/>

- Eholzer, W., & Roth, R. (2017). The Role of High-Frequency Trading in Modern Financial Markets. In *The Journal of Portfolio Management*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45848-9_12
- Ekeland, I. (2017). Come funziona il caos. Dal moto dei pianeti all'effetto farfalla (Prima Edizione). *Bollati Boringhieri*.
- Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*, 25(2), 383. <https://doi.org/10.2307/2325486>
- Fama, E., & Thaler, R. (2016, June 30). Are Markets Efficient? Chicago Booth Review. *The University of Chicago Booth School of Business*. <https://www.chicagobooth.edu/review/are-markets-efficient#>
- Farmer, L. E., Schmidt, L., & Timmermann, A. (2019). Pockets of Predictability. *Social Science Research Network*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3152386>
- Gigerenzer, G., & Selten, R. (2001). Bounded rationality: The adaptive toolbox. *International Journal of Psychology*, 35, 203–204. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA51756507>
- Gozzini, G. (2014, May 15). Come cambia la crisi nell'era dei subprime. *L'Espresso*. <https://espresso.repubblica.it/plus/articoli/2014/05/14/news/come-cambia-la-crisi-nell-era-dei-subprime-1.165370/>
- Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980b). On the impossibility of informationally efficient markets. *The American Economic Review*, 70(3), 393–408. <https://doi.org/10.7916/d8765r99>
- Hoffmann, A. O. I., & Post, T. (2014). Self-attribution bias in consumer financial decision-making: How investment returns affect individuals' belief in skill. *Journal of*

Behavioral and Experimental Economics, 52, 23–28.

<https://doi.org/10.1016/j.socec.2014.05.005>

Jegadeesh, N., & Titman, S. (1993). Returns to Buying Winners and Selling Losers: Implications for Stock Market Efficiency. *Journal of Finance*, 48(1), 65–91.

<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1993.tb04702.x>

Keynes, J. M. (2018). *The General Theory of Employment, Interest, and Money*. Springer.

Knight, F. H. (2014). *Risk Uncertainty and Profit*.

Ljung, G. M., & Box, G. E. P. (1978). On a measure of lack of fit in time series models.

Biometrika, 65(2), 297–303. <https://doi.org/10.1093/biomet/65.2.297>.

Lo, Andrew W., Efficient Markets Hypothesis. *THE NEW PALGRAVE: A DICTIONARY OF ECONOMICS*, L. Blume, S. Durlauf, eds., 2nd Edition, Palgrave Macmillan Ltd.,

2007, SSRN: <https://ssrn.com/abstract=991509>

Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1988). Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test. *Review of Financial Studies*, 1(1), 41–66.

<https://doi.org/10.1093/rfs/1.1.41>

Lofland, J. (1985). *Protest : Studies of Collective Behaviour and Social Movements* (1st ed.) [EBook]. *Routledge*. [https://www.routledge.com/Protest-Studies-of-Collective-](https://www.routledge.com/Protest-Studies-of-Collective-Behaviour-and-Social-Movements/Lofland/p/book/9780887388767)

[Behaviour-and-Social-Movements/Lofland/p/book/9780887388767](https://www.routledge.com/Protest-Studies-of-Collective-Behaviour-and-Social-Movements/Lofland/p/book/9780887388767)

Malkiel, B. G. (1973). *A Random Walk Down Wall Street*

Malkiel, B. G. (1991). Efficient Market Hypothesis. *In Palgrave Macmillan UK eBooks* (pp.

211–218). https://doi.org/10.1007/978-1-349-21315-3_28

- Mandelbrot, B. B. (1967). How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. *Science*, 156(3775), 636–638.
<https://doi.org/10.1126/science.156.3775.636>
- Mandelbrot, B. B. (2013). Fractals and Scaling in Finance: Discontinuity, Concentration, Risk. *Selecta Volume E. Springer Science & Business Media*.
- Mandelbrot, B. B., Fisher, A. J., & Calvet, L. E. (1997). A Multifractal Model of Asset Returns. In HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe). *French National Centre for Scientific Research*. <https://hal-hec.archives-ouvertes.fr/hal-00601870>
- Martech, A. (2022, August 18). What Is Status Quo Bias and How Does It Affect the Workplace? *Wharton Online*. <https://online.wharton.upenn.edu/blog/status-quo-bias/>
- Matera, G. (2017). Econofisica: la fisica che predice i mercati. [*Tesi di Laurea. Università di Bologna*]. <https://amslaurea.unibo.it/14613/1/tesi.pdf>
- Matthews, D. (2013, July 26). Insider trading enriches and informs us and could prevent scandals. Legalize it. *WashingtonPost.com*.
<https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2013/07/26/insider-trading-makes-us-richer-better-informed-and-could-prevent-corporate-scandals-legalize-it/>
- Mishkin, F. S. (1990). Asymmetric Information and Financial Crises: A Historical Perspective. <https://doi.org/10.3386/w3400>
- Ottaviano, S. (2011). Sui voli di Lévy [*Tesi di Laurea, Università di Bologna*]. <https://core.ac.uk/download/pdf/11807061.pdf>
- Peters, E. E. (1994). Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics. *John Wiley & Sons*.

- Post, I. (2016). La teoria del cigno nero e tutti noi. *Il Post*.
<https://www.ilpost.it/2016/05/22/la-teoria-del-cigno-nero-e-tutti-noi/>
- Schumpeter, J. A. (2013). *Capitalism, Socialism and Democracy*. *Routledge*
- Sent, E. (2018). Rationality and bounded rationality: you can't have one without the other. *European Journal of the History of Economic Thought*, 25(6), 1370–1386.
<https://doi.org/10.1080/09672567.2018.1523206>
- Shermer, M. (2008). Patternicity. *Scientific American*, 299(6), 48.
<https://doi.org/10.1038/scientificamerican1208-48> Shermer, M. (2008).
- Shiller, R. (1984). Stock Prices and Social Dynamics. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2:, 457–510. <https://www.brookings.edu/wp>
- Shiller, R. J. (2016). *Irrational Exuberance: Revised and Expanded Third Edition*. *Princeton University Press*.
- Shleifer, A., & Summers, L. H. (1990). The Noise Trader Approach to Finance. *Journal of Economic Perspectives*, 4(2), 19–33. <https://doi.org/10.1257/jep.4.2.19>
- Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2017). *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*. *Springer*.
- Soros, G. (2009, October 27). Soros: General Theory of Reflexivity. *Financial Times*.
<https://www.ft.com/content/0ca06172-bfe9-11de-aed2-00144feab49a>
- Taleb, N. N. (2008). *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. *Penguin UK*.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2016, May 5). Moral hazard | society. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/topic/moral-hazard>
- Turner, R. H., & Killian, L. M. (1987). *Collective Behavior*. Prentice Hall

- Werner F. M. De Bondt, & Thaler, R. (1985). Does the Stock Market Overreact? *The Journal of Finance*, 40(3), 793–805. <https://doi.org/10.2307/2327804>
- Yahoo Finance. (n.d.). S&P 500 (^GSPC) - Historical Data. *Yahoo!Finance*. Retrieved May 23, 15 C.E., from <https://finance.yahoo.com/quote/%5EGSPC/history?p=%5EGSPC>.
- Zunino, L., Tabak, B. M., Pérez, D. G., Garavaglia, M., & Rosso, O. A. (2007). Inefficiency in Latin-American market indices. *The European Physical Journal B*, 60, 111-121.
- Zunino, L., Zanin, M., Tabak, B. M., Pérez, D. G., & Rosso, O. A. (2010). Complexity-entropy causality plane: A useful approach to quantify the stock market inefficiency. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(9), 1891-1901

Appendice

i. Tabelle

| Intervallo | Apertura Intervallo | Chiusura Intervallo | p-value ADF | p-value Box-Ljung |
|------------|---------------------|---------------------|-------------|-------------------|
| 1 | Feb 23, 1998 | May 04, 1998 | 0.0001** | 0.06064* |
| 2 | May 05, 1998 | Jul 15, 1998 | 0.0000** | 0.9355 |
| 3 | Jul 16, 1998 | Sep 24, 1998 | 0.0000** | 0.8500 |
| 4 | Sep 25, 1998 | Dec 04, 1998 | 0.0000** | 0.5539 |
| 5 | Dec 07, 1998 | Feb 18, 1999 | 0.0000** | 0.5335 |
| 6 | Feb 19, 1999 | Apr 30, 1999 | 0.0000** | 0.5369 |
| 7 | May 03, 1999 | Jul 13, 1999 | 0.0006** | 0.1322 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 71 | Jan 19, 2012 | Mar 29, 2012 | 0.0000** | 0.5666 |
| 72 | Mar 30, 2012 | Jun 11, 2012 | 0.0000** | 0.4216 |
| 73 | Jun 12, 2012 | Aug 21, 2012 | 0.0001** | 0.00409** |
| 74 | Aug 22, 2012 | Nov 02, 2012 | 0.0000** | 0.5038 |
| 75 | Nov 05, 2012 | Jan 16, 2013 | 0.0000** | 0.7240 |
| 76 | Jan 17, 2013 | Apr 01, 2013 | 0.0000** | 0.01653** |

Appendice 1: Tabella risultati test Augmented Dickey-Fuller con intervalli a 50 osservazioni e test Box-Ljung sull'autocorrelazione.

| Intervallo | Apertura Intervallo | Chiusura Intervallo | Non-rolling window | Rolling window |
|------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| | | | p-value ADF | p-value medio Ljung-Box |
| 1 | 1 | 50 | < 0,05** | 0,367330857 |
| 2 | 51 | 100 | < 0,05** | 0,291715737 |
| 3 | 101 | 150 | < 0,05** | 0,460421533 |
| 4 | 151 | 200 | < 0,05** | 0,430124876 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 5 | 3501 | 3550 | < 0,05** | 0,499000637 |
| 6 | 3551 | 3600 | < 0,05** | 0,443450718 |
| 7 | 3601 | 3650 | < 0,05** | 0,379572439 |
| 8 | 3651 | 3700 | < 0,05** | 0,409220663 |
| 9 | 3701 | 3750 | < 0,05** | 0,375388148 |
| 10 | 3751 | 3800 | < 0,05** | 0,370802806 |

Appendice 2: Risultati sui test Ljung-Box in finestre mobili, fino al ritardo di quinto ordine; i p-value medi dimostrano la prevalenza di rendimenti non-autocorrelati.

ii. Codice R Studio

Nella seguente appendice si riporta il codice implementato per condurre i test Augmented Dickey-Fuller e Ljung-Box presentati nel sottocapitolo viii.

```
library(tseries)
library(urca)
library(ggplot2)
library(quantmod)

getSymbols("^GSPC", src = "yahoo", from = "1998-02-23", to = "2013-
04-01")

GSPC$Returns <- diff(log(Cl(GSPC)))

df <- data.frame(Date = index(GSPC), Returns =
coredata(GSPC$Returns))
df <- df[!is.na(df$Returns), ]

rendimenti <- df$Returns
p_values_adf <- c()
p_values_box <- c()

for(i in seq(1, length(rendimenti), by = 50)){
  test_window <- rendimenti[i:min(i+49, length(rendimenti))]
  adf_test <- ur.df(test_window, type = "none")
  p_value_adf <- summary(adf_test)$testreg$coefficients[1,4]
  p_values_adf <- c(p_values_adf, p_value_adf)
  if(p_value_adf <= 0.05) {
    box_test <- Box.test(test_window, lag = 10, type = "Ljung-Box")
```



```

    p_value_box <- box_test$p.value
    p_values_box <- c(p_values_box, p_value_box)
  } else {
    p_value_box <- NA
    p_values_box <- c(p_values_box, p_value_box)
  }
}

results_df <- data.frame(Window_Start = seq(1, length(rendimenti),
by = 50),
                          Window_End = c(seq(50, by = 50, length.out
= length(p_values_adf) - 1), length(rendimenti)),
                          P_Value_ADF = p_values_adf,
                          P_Value_BoxPierce = p_values_box)

print(results_df)

```