



# Indice

Pagina 3	Introduzione: che cos'è l'econofisica
Pagina 4	Fisica ed Economia: paradigmi a confronto Perché l'econofisica?
Pagina 5	Chi ha preceduto chi? Majorana: Fisica quantistica e Scienze sociali Sviluppo storico
Pagina 6	Bachelier e la Random Walk
Pagina 8	La distribuzione di Levy
Pagina 9	La TLF
Pagina 10	Il modello Black and Scholes
Pagina 11	La rivoluzione informatica Present status
Pagina 12	I mercati finanziari: the chaos approach I sistemi complessi
Pagina 14	È possibile prevedere le crisi finanziarie?
Pagine 17	Conclusioni
Pagine 18	Bibliografia e Sitografia

## Introduzione: Che cos'è l'econofisica?

“L'econofisica è l'applicazione dei metodi tipici della fisica allo studio del mercato finanziario, considerato come un sistema complesso.”

H.E. Stanley

L'**econofisica** è un campo di ricerca interdisciplinare, che cerca di comprendere i problemi economici sfruttando teorie e metodologie originariamente sviluppate dai fisici, poiché entrambe le aree trattano lo studio di sistemi complessi formati da un gran numero di più piccoli sottoinsiemi. Il termine “econofisica” è di per sé relativamente recente: fu infatti coniato da Stanley a metà degli anni 90. Benché solamente negli ultimi vent'anni questa disciplina ha preso piede, l'econofisica ha in realtà radici nella storia antica: Newton e Copernico furono tra i primi ad applicare concetti della fisica statistica a problemi economici. L'econofisica è spesso designata anche come “fisica della finanza”, perché prova a comprendere il comportamento locale dei mercati finanziari da un punto di vista scientifico, oppure anche come “finanza statistica”, in quanto costituisce un'estensione della fisica statistica allo studio dei problemi che solitamente cadono nella sfera dell'economia e, in particolare, della finanza.

“Fisica” significa provare a comprendere come gli effetti macroscopici sono causati da un grandissimo numero di interazioni microscopiche, dunque alcuni degli strumenti utilizzati dai fisici statistici possono essere impiegati per capire le dinamiche dei mercati. Per esempio, studi di entropia sono stati applicati per ottenere una migliore comprensione della distribuzione dei salari in un mercato libero. Molte somiglianze sono state trovate tra i dati nei mercati azionari e i terremoti. Questo potrebbe aiutare gli economisti a capire meglio e persino forse predire i crolli dei mercati azionari. La disponibilità di una grande mole di dati sui mercati ha reso ciò possibile anche perché ogni transazione finanziaria è meticolosamente registrata e ordinata. I cambiamenti dei prezzi e le fluttuazioni possono essere meglio compresi attraverso precisi strumenti empirici utilizzati dai fisici e l'analisi dei dati osservati invece che tramite le classiche teorie economiche tradizionali. I fenomeni collettivi in economia, nelle scienze sociali e in ecologia sono poi estremamente attraenti per i fisici statistici, soprattutto grazie all'enorme abbondanza di regolarità statistiche, basti pensare ai ritorni nei mercati finanziari. Ad un livello più astratto, i problemi in gioco non sono poi così differenti dal comprendere come una magnetizzazione spontanea può sorgere in un sistema magnetico, siccome quello che si vuole fare in entrambi i casi è capire come gli effetti delle interazioni su scala microscopica possono svilupparsi sino ad una scala macroscopica. Ovviamente, i sistemi ecologici e i mercati finanziari sono dei sistemi molto più complessi dei magneti, essendo composti da unità che seguono esse stesse complesse regole di comportamento. Tuttavia, in molti casi, può essere ragionevole assumere che il comportamento collettivo di una folla di individui presenti aspetti di pura natura statistica che possono essere studiati da modelli. L'econofisica include quindi la collaborazione di fisici, matematici e economisti che sperano di scoprire nuove visioni nel comportamento dei mercati finanziari attraverso un

approccio statistico. Le proprietà dei mercati, le loro dimensioni e stabilità, il loro comportamento e il loro impatto potrebbero essere compresi più chiaramente utilizzando questo approccio. Benché il comportamento delle molecole è molto più semplice di quello dei sistemi finanziari, il comportamento collettivo ed emergente di milioni di molecole non è così diverso da quello finanziario di milioni di persone. Teorie quindi che si applicano al primo potrebbero fornire nuove prospettive sul secondo.

### **Fisica ed Economia: paradigmi a confronto**

I modelli fisici si stanno rivelando quanto mai adatti per affrontare la complessità dei mercati finanziari. Sorge quindi spontanea la domanda su come discipline apparentemente così lontane, come la Fisica e l'Economia, possano interagire tra loro. Per prima cosa, possiamo notare come la prima si occupa di due grandi estremi: la fisica nucleare delle particelle e l'astrofisica, che studia il cosmo e l'universo. Tra questi due poli si collocano tutte le altre scienze. In questa sorta di gerarchia troviamo come le scienze sociali occupino un posto intermedio, con l'economia che rappresenta un collegamento cruciale tra il comportamento delle persone individuali e il comportamento di gruppi di persone. Nonostante la comunità di fisici che opera in ambito finanziario continua ad essere in crescita, l'idea che il paradigma proprio della fisica potesse essere trasferito ad altre discipline, quali appunto quelle economiche, ha incontrato e incontra tuttora alcune difficoltà. Riprendendo il concetto di paradigma proprio di Kuhn, possiamo notare come la filosofia interpretativa dei processi economici presenta caratteristiche ben differenti dai modelli e schemi utilizzati per interpretare i fenomeni fisici. La meccanica e l'economia presentano infatti due paradigmi diversi, che differiscono non solo per le modalità di calcolo o le ipotesi di base, ma per la concezione stessa di ciò che si intende per spiegazione di un fenomeno.

L'economia classica si fonda su assunzioni molto forti che diventano velocemente assiomi: la razionalità degli agenti economici, la mano invisibile, l'efficienza dei mercati. I fisici, d'altro canto, si sono sempre mostrati scettici nei confronti di assiomi e modelli: moltissime idee universalmente accettate si sono infatti poi rivelate sbagliate nella storia della fisica, basti pensare alla fisica galileiana o newtoniana. Purtroppo, in economia le idee si sono invece solidificate in dogmi. Ma nella realtà i mercati non sono efficienti, gli uomini tendono ad essere maggiormente concentrati nel breve periodo e quasi ciechi nel lungo periodo, e gli errori si amplificano a causa delle pressioni sociali, conducendo in definitiva all'irrazionalità collettiva, al panico e alle crisi.

### **Perché l'econofisica?**

La quantità di successi delle scienze economiche è quasi deludente quando viene confrontata con quella della fisica. Soprattutto se ne mette in evidenza l'incapacità di predire ed evitare le crisi. Ovviamente, prevedere con dei modelli la pazzia delle persone è più difficile che il moto dei pianeti, come disse una volta Newton. Tuttavia, si sono verificate molte situazioni in cui l'affidamento su modelli basati su assiomi sbagliati ha provocato effetti disastrosi. Ad esempio il modello Black-Scholes, di cui tratteremo in seguito, prevede che i cambiamenti di prezzo abbiano una distribuzione gaussiana, ossia che la probabilità di eventi estremi sia ritenuta trascurabile. L'arbitraria assunzione di questo modello per assicurare dal crollo dei rischi nei mercati azionari si impennò sino a portare al crollo dell'Ottobre 1987. Ironicamente è stato proprio l'impiego del

modello Black-Scholes “crash-free” (ossia che non prevedeva i crolli) ad aver destabilizzato il mercato. Sorprendentemente, manca quindi nell'economia classica una struttura di base per comprendere i mercati “selvaggi”, benché non sia negata la loro esistenza. I fisici, d'altro canto, hanno sviluppato in fisica diversi modelli che permettono di comprendere come le piccole perturbazioni possano condurre ad effetti imprevedibili. La teoria della complessità, sviluppata in fisica negli ultimi 30 anni, mostra come, nonostante un sistema possa avere un ottimo stato (come per esempio lo stato di energia più bassa), è tuttavia a volte difficile prevedere che il sistema si blocchi a questo punto. Ci sono buone ragioni per credere che questo complesso paradigma dovrebbe essere applicato ai sistemi economici in generale e ai mercati finanziari in particolare. Poiché asserzioni di equilibrio e linearità non funzionano, è necessario infatti discostarsi dalla visione classica dell'economia e sviluppare nuovi strumenti, come azzardato appunto dagli econofisici.

### **Chi ha preceduto chi?**

Tuttavia, a questo punto giungiamo ad un problema più profondo: non è chiaro chi abbia preceduto chi in questi sviluppi. Quelli che sembrano modelli della fisica in alcuni casi provengono dall'economia, e i modelli standard dell'economia arrivano soprattutto dalla fisica. L'econofisica potrebbe dunque semplicemente riferirsi ad un processo in atto da molto più tempo. Ma guardiamo più da vicino gli sviluppi di questa disciplina.

### **Majorana: Fisica quantistica e scienze sociali**

*“è importante quindi che i principi della meccanica quantistica abbiano portato a riconoscere il carattere statistico delle leggi ultime dei processi elementari. Questa conclusione ha reso sostanziale l'analogia tra fisica e scienze sociali, tra le quali è risultata un'identità di valore e di metodo.”* Ettore Majorana, Il valore delle leggi statistiche nella fisica e nelle scienze sociali(1942)

La possibilità di un legame tra la nascente fisica quantistica e le scienze sociali venne preannunciata per prima da Ettore Majorana nel 1938. Lo scienziato evidenziò infatti come le nuove concezioni della fisica e le scoperte della meccanica quantistica potessero avere un impatto enorme sulla diversa interpretazione delle realtà sociali. Queste stesse leggi statistiche potevano essere usate per i modelli dei sistemi finanziari e sociali. La prospettiva adottata da Majorana appariva alquanto inusuale all'epoca, in cui si prediligeva la descrizione deterministica dei sistemi economici. Al contrario, egli evidenziò in modo innovativo la possibile analogia tra la natura quanto-statistica dei fenomeni nucleari e la formalizzazione dei modelli economici. Queste idee visionarie sulla natura stocastica dei fenomeni sociali portano allo sviluppo di una nuova area, la “Quanto econofisica”, in cui i concetti propri della meccanica quantistica permettono di comprendere più correttamente il comportamento dei processi economici.

### **Sviluppo storico**

Nonostante il termine “econofisica” è entrato a far parte del linguaggio scientifico solo qualche decennio fa, la connessione e l'interazione reciproca tra la fisica e l'economia risalgono a circa 300 anni fa. Le pubblicazioni scientifiche sono infatti piene di esempi di famosi fisici che si sono occupati di economia e dei problemi finanziari. È esemplare il caso degli sfortunati investimenti di

Isaac Newton, che si dice abbia perso ventimila sterline investendo nella bolla speculativa del 1720 della *South Sea Company*. “Posso calcolare il moto dei corpi celesti, ma non la pazzia delle folle” ribadì Newton. Daniel Bernoulli introdusse poi ad esempio l'idea di utilità per descrivere le preferenze delle persone nel 1738. Pierre-Simon Laplace nel suo “Essai philo-phique sur le probabilités” evidenziò come quegli eventi che potrebbero apparire di primo impatto casuali e imprevedibili in economia possono invece essere parzialmente predetti e si può mostrare come essi obbediscano a semplici leggi (1812). Un ulteriore esempio è Jan Tinbergen, ideatore del modello gravitazione del commercio mondiale nel 1962 in cui predice il flusso di commercio tra due paesi basandosi sulla distanza, sull'ampiezza di questi ultimi e sul loro prodotto interno lordo, secondo la formula:

$$F_{ij} = G \frac{M_i^{\beta_1} M_j^{\beta_2}}{D_{ij}^{\beta_3}}$$

dove  $M_i^{\beta_1}$  e  $M_j^{\beta_2}$  rappresentano i rispettivi PIL per i due paesi, indicizzati i e j, G è una costante e  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  sono dei parametri, da determinare sperimentalmente. L'equazione ricalca nella forma la Legge della gravitazione universale di Isaac Newton :

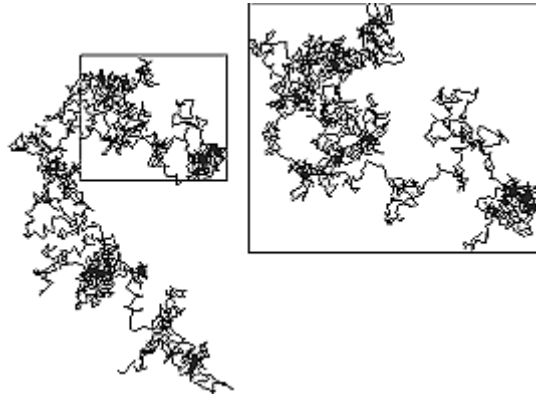
$$F_{ij} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Economisti come Walras e Pareto tentarono poi di trasferire il formalismo della Meccanica classica nelle strategie per l'analisi finanziaria: i punti materiali si tramutano in eventi economici, l'energia potenziale è rappresentabile dall'utilità economica e l'evoluzione dinamica dei sistemi, sia fisici sia economici, si suppone governata da un principio di minima azione. Dalla meccanica molti economisti hanno elaborato anche modelli basati sulla corrispondenza del concetto di equilibrio e di conservazione dell'energia in fisica ed economia. Tuttavia, tutti i modelli che vennero proposti non si avvicinarono al livello di capacità predittiva di leggi quali quella di gravitazione universale.

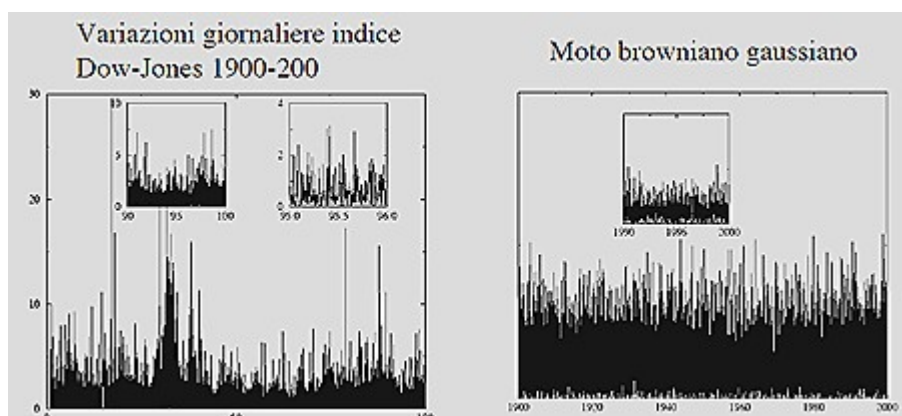
## 1. Bachelier e la Random Walk

Il primo tentativo concreto di analizzare quantitativamente i mercati finanziari si ebbe con la modellizzazione basata sul concetto di random walk, un modello matematico per descrivere i mercati efficienti. Nel 1900 Louis Bachelier nella sua tesi di dottorato propose la prima formulazione del calcolo dei prezzi delle opzioni nei mercati speculativi, in cui si avanzava l'ipotesi di applicare la teoria della probabilità allo studio della variazione dei prezzi dei titoli di stato emessi dal governo francese. Egli evidenziò l'analogia tra la dinamica dei prezzi della Borsa di Parigi (con le caratteristiche dei cammini casuali del moto browniano) e tutta la formulazione del moto di diffusione casuale, anticipando la pubblicazione di Einstein. Infatti, la prima descrizione teorica di una random walk nelle scienze naturali fu sviluppata da Einstein solo nel 1905. Dunque, l'approccio proposto da Bachelier anticipava di ben 5 anni le proprietà essenziali della teoria proposta da Einstein per descrivere i cammini caotici del moto dei granelli di polline in sospensione in un liquido, osservati dall'inglese Robert Brown sin dall'inizio dell'800. Nel 1905 Einstein analizzò il fenomeno browniano dal punto di vista microscopico e macroscopico. Partendo dal livello

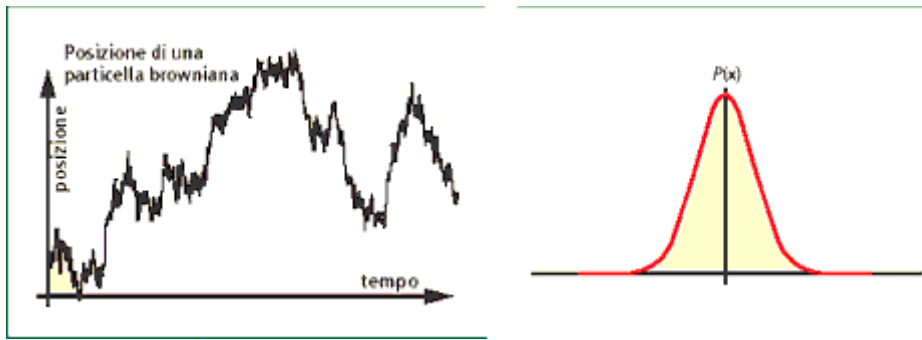
microscopico, tentò una descrizione del moto dei granelli di polline, i cui cambiamenti repentini di direzione erano provocati dagli urti con le molecole d'acqua. Tuttavia, non potendo conoscere le condizioni iniziali con precisione, l'unico approccio possibile per modellizzare il sistema fu quello di passare ad un livello macroscopico. Einstein descrisse quindi il moto del polline tramite una formulazione statistica secondo cui l'effetto cumulativo degli urti porta una particella a muoversi in modo casuale, come se essa fosse all'interno di un reticolo e si muovesse con date probabilità.



Dal punto di vista fisico possiamo evidenziare alcune caratteristiche principali del moto browniano: come si evince dalla figura, il moto è molto irregolare e la traiettoria sembra non avere tangente in alcun punto; il movimento delle diverse particelle è indipendente e la loro composizione e densità non ha alcun effetto sul moto; più le particelle sono piccole, il fluido meno viscoso e la temperatura più elevata e più il moto risulta essere attivo; il moto non cessa mai. Sin dal principio, la teoria dei mercati efficienti si basava sulle ipotesi che le fluttuazioni degli indici finanziari fossero casuali: da un punto di vista fisico, questo equivale al comportamento delle particelle in un moto browniano. Il classico esempio per presentare intuitivamente la random walk è il cammino percorso da un ubriaco, compiuto con passi unitari in distanza e con tutte le direzioni equiprobabili, schema che facilmente si trasferisce nell'ambito finanziario, in cui un passo è equivalente a un movimento di prezzo. Tuttavia, i sistemi finanziari spesso esibiscono dei comportamenti anomali, con salti completamente inattesi degli indici e senza alcuna apparente spiegazione, come possiamo notare dal seguente confronto:



Questa teoria avanzata da Einstein dei processi legati al moto browniano mancava però di una solida base matematica, che venne introdotta solo a partire dal 1918 grazie agli studi di Wiener. Il suo modello matematico del moto caotico è stato preso come fondamento per la formulazione di un modello macroscopico del mercato finanziario: secondo questo modello, i prezzi delle azioni,



che derivano da una serie di trattazioni di cui non possiamo conoscere la dinamica microscopica (così come per i granelli di polvere) sono aleatori e la loro distribuzione di probabilità segue la curva di Gauss.

## 2. La distribuzione di Levy

Nel corso degli anni emersero però i limiti dell'approccio gaussiano, che non riproduceva in modo soddisfacente l'andamento reale dei prezzi nel mercato. Questo approccio sottostimava infatti gli eventi estremi (nelle code), cioè le grandi perdite ed i grandi guadagni. In un mondo gaussiano, le crisi come quella del 1929 non potrebbero avvenire. Emersero quindi nuovi modelli che sfruttavano alcune metodologie di calcolo sviluppate dalla fisica teorica in cui emerge che il logaritmo del prezzo di un'azione si comporta come la posizione di una particella in un moto browniano: dunque, i prezzi hanno una distribuzione di probabilità log normale.

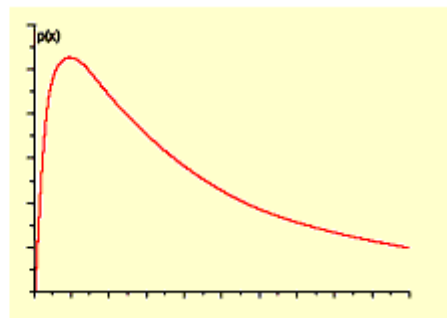
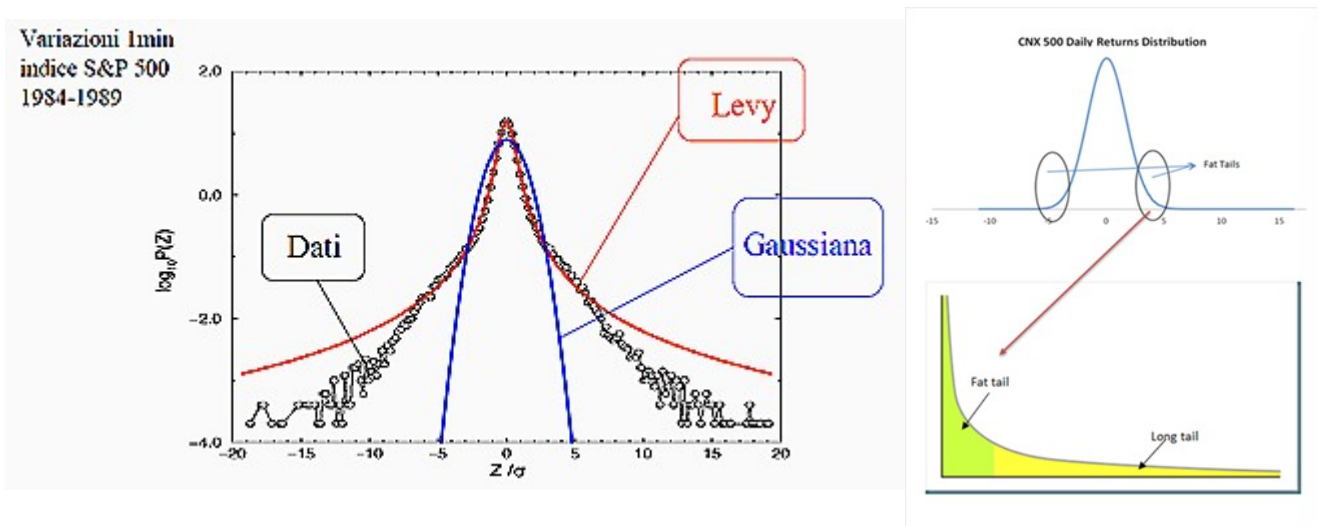


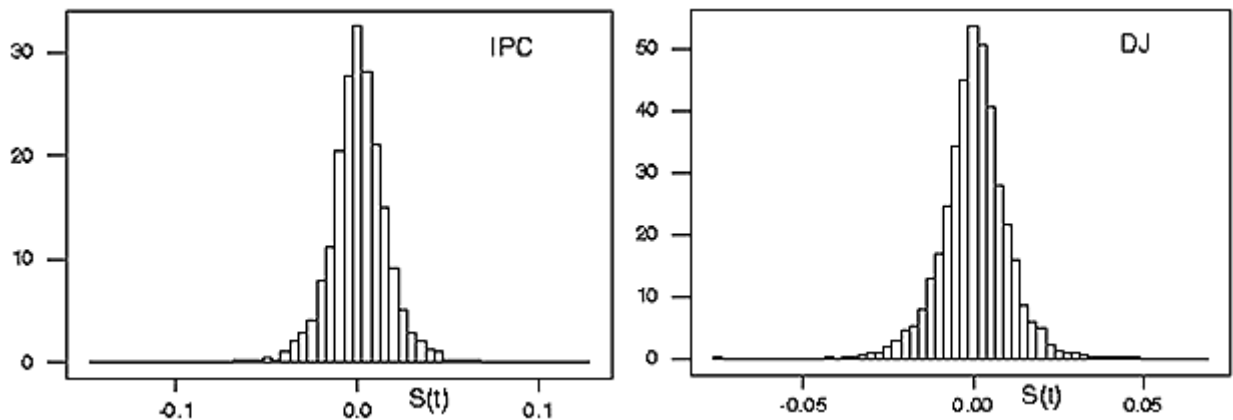
Fig. A destra, una distribuzione di probabilità lognormale non ha una forma "a campana" simmetrica rispetto al suo massimo.

Uno degli sviluppi più rivoluzionari nella teoria dei prezzi speculativi sin dall'opera iniziale di Bachelier, fu l'ipotesi di Mandelbrot nel 1963, che, a partire dagli studi sui prezzi del cotone, propose una teoria secondo cui i cambiamenti di prezzo seguono una distribuzione stabile di Levy a code grasse ("fat tails") per descrivere l'evoluzione non gaussiana del logaritmo dei prezzi P.

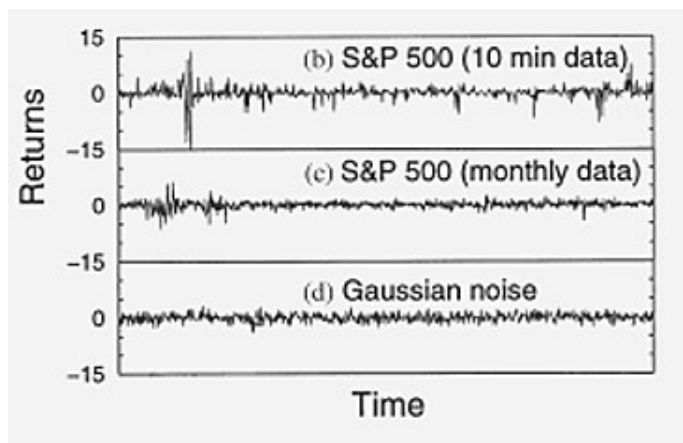




In econofisica, quindi, più che analizzare i prezzi si preferisce utilizzare i cosiddetti ritorni finanziari, ossia il “logaritmo naturale dei cambiamenti di un indice finanziario X in un certo intervallo di tempo”. Possiamo subito notare come questo approccio rispecchi meglio la realtà dei mercati finanziari: infatti, analizzando la distribuzione del logaritmo dei ritorni dell’indice messicano IPC dal 19 Aprile 1990 al 17 Settembre 2004 e quella del DJ dal 19 Aprile del 1990 al 17 Settembre del 2004, possiamo osservare come queste due distribuzioni siano ben lontane dall’essere Gaussiane (presentano code molto larghe).



Dallo studio dei ritorni, emerge come gli eventi estremi, ossia gli eventi situati nelle code, sono molto più frequenti quando si analizzano i ritorni di un indice su tempi corti (grafico b e c) contrariamente a quanto accade invece per del rumore Gaussiano (grafico d).

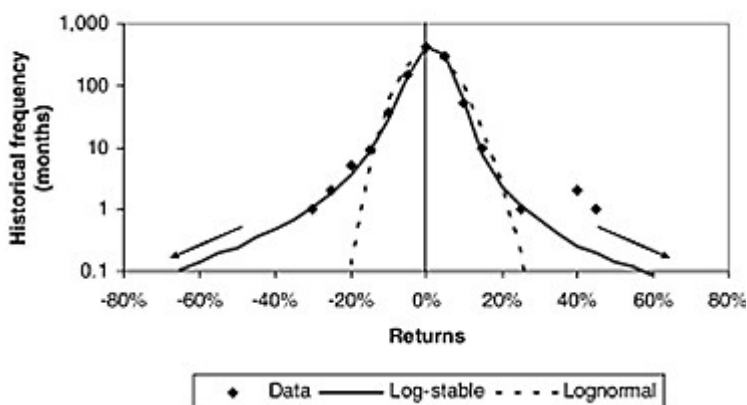


### 3. LA TLF (“truncated lognormal distribution”)

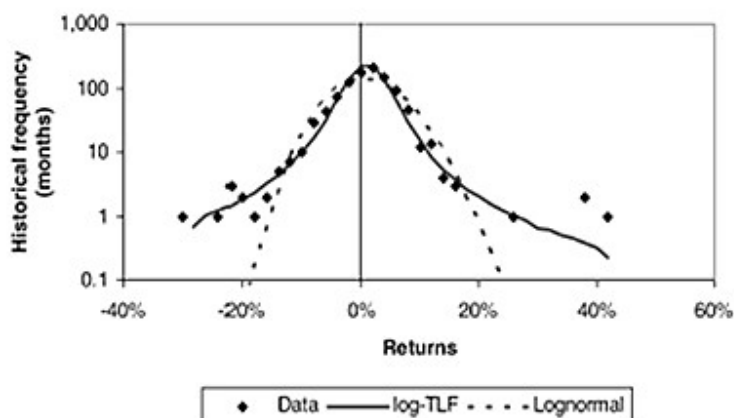
Tuttavia anche la distribuzione stabile di Levy non appare del tutto soddisfacente, a causa del valore non finito della varianza. Processi stocastici con varianza infinita sono però estremamente difficili da utilizzare e fanno sorgere una serie di interrogativi quando applicati ai sistemi reali. Per esempio, in un sistema fisico una varianza infinita implica una temperatura infinita. Nei sistemi finanziari una varianza infinita renderebbe estremamente complesso stabilire la valutazione del rischio. Agli inizi del 1990 fu quindi proposta una nuova tecnica statistica: il troncamento della

distribuzione stabile di Levy (TLF) cioè una sua normalizzazione usando una particolare funzione in modo da evitare una varianza infinita. Possiamo confrontare i dati di una distribuzione stabile di Levy, della TLF e di una distribuzione normale utilizzando i ritorni dell'indice S&P500 dal 1926 al 2009. Notiamo subito come la distribuzione normale non funziona per ritorni al di sopra e al di sotto di 15%. Al contrario, la distribuzione di Levy stabile si adegua ai dati anche se le code si estendono oltre il valore massimo e minimo storico dei ritorni. Questo è ciò che causa una varianza infinita. La distribuzione TLF presenta invece code troncate così come si vede nella realtà' (varianza finita).

S&P 500 monthly return distribution (Jan 1926-Apr 2009)



S&P 500 monthly return distribution (Jan 1926-Apr 2009)



#### 4. Il modello Black and Scholes

Attualmente, non esiste un modello matematico deterministico in grado di descrivere il comportamento della dinamica dei prezzi nei mercati finanziari. La maggior parte dei modelli matematici concretamente usati dagli analisti finanziari è riconducibile ai risultati ottenuti nel 1973 da Fischer Black e Myron Scholes con qualche contributo di Robert Merton, migliorando un precedente approccio sviluppato da A. James Boness sullo studio dei titoli derivati. Il modello, chiamato anche Moto Browniano Geometrico, è oggi considerato il modello *standard* della dinamica dei prezzi nei mercati finanziari. Nel loro lavoro si mostrava come un tipico problema di finanza potesse essere ricondotto all'equazione di diffusione del calore. L'equazione costituisce un importantissimo nesso tra la fisica e la finanza, in quanto ha permesso di esportare numerose competenze e concetti legati alla descrizione teorica di fenomeni fisici in campo finanziario. Il loro modello mostra che l'evoluzione del prezzo dei titoli derivati verifica un'equazione differenziale alle derivate parziali parabolica, riconducibile all'equazione di diffusione del calore.

Fig. L'equazione di Black e Scholes per l'evoluzione del valore  $V(S, t)$  di una particolare opzione, di

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0.$$

un titolo o di uno strumento derivato basato sul prezzo di mercato  $S$  di un bene (azione, valuta, ...) all'istante  $t$ , dove  $r$  rappresenta il tasso d'interesse senza rischi e  $\sigma$  la volatilità.

Tuttavia, così come il modello proposto da Bachelier, anche quest'ultimo è in alcuni casi poco corrispondente alla realtà e necessita quindi di correzioni nella sua applicazione. Ciò significa che il problema di stabilire come i processi stocastici descrivono l'andamento dei cambiamenti dei prezzi in un mercato finanziario è in realtà ancora aperto.

### La rivoluzione informatica

Il passo successivo che rivoluzionò completamente il mondo Gaussiano fu l'arrivo del computer negli anni 80. Per prima cosa, esso cambiò drasticamente la velocità e la gamma delle transazioni. Poi, rese possibile la registrazione di un'immensa mole di dati: oggi infatti in moltissimi mercati finanziari tutte le offerte di vendita e di acquisto o le transazioni sono registrate elettronicamente. Tutte queste informazioni sono disponibili in forma elettronica per studi e ricerche, rendendo possibili analisi empiriche di sistemi quali appunto le dinamiche finanziarie. Ad esempio, la borsa di New York dal 1993 pubblica una banca data con tutte le transazioni (trades) e le offerte (quotes) registrate nei mercati azionari americani. È una mole di dati dell'ordine dei terabyte.

L'applicazione del computer permette poi di confrontare le economie e i mercati più da vicino, grazie appunto alla possibilità di collezionare più dati in modo esponenziale. Così facendo, sono emersi all'interno dei sistemi economici dei tratti non lineari. Sia il comportamento non lineare che la sopravvalutazione del principio Gaussiano per lo studio delle fluttuazioni furono responsabili del Lunedì nero nel 1987 e della crisi in Agosto e Settembre 1998 e anche della crisi sub prime del 2008. Lo shock che queste crisi portarono con sé ebbe tuttavia un impatto positivo perché permise di comprendere l'importanza degli effetti non lineari. Poiché i mercati collezionano un'immensa mole di date, vi è la necessità di sviluppare nuove metodologie in grado di organizzarli, metodologie che spesso sono prese in prestito dalla fisica, campo dove la ricerca di regolarità e di correlazioni non convenzionali è quasi obbligata.

### Present status

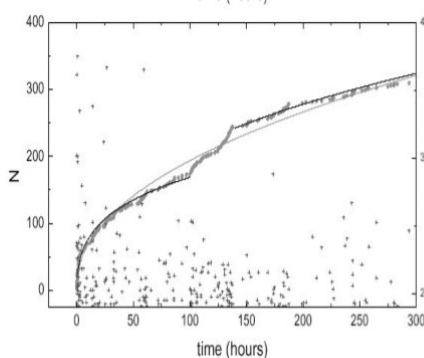
Con questo bagaglio di informazioni a disposizione, i fisici hanno così incominciato a studiare la fenomenologia dei mercati, proponendo alcune congetture che spiegassero meglio le dinamiche complesse che governano il mercato o alcuni modelli che riflettessero al meglio le caratteristiche dei sistemi economici. Forse i problemi più studiati sono state le distribuzioni dei ritorni nei mercati finanziari, oppure le distribuzioni del reddito e del benessere, la distribuzione dei crolli economici e le variazioni del tasso di crescita. Un'altra area riguarda invece lo sviluppo di un modello teorico che sia in grado di comprendere tutte le caratteristiche essenziali dei veri mercati finanziari. I modelli principali derivano dalla meccanica statistica e dai modelli di studio dei terremoti. Tra i modelli ora prevalenti vi è la forma non gaussiana a code grasse della distribuzione dei ritorni dei

prezzi. Per quanto riguarda l'analogia con i terremoti, i fisici hanno dimostrato come nel periodo successivo ad un grande crollo, i mercati presentano un'attività persistente che segue la legge di Omori per le scosse di assestamento (ossia diminuisce la probabilità degli eventi secondo una proporzione inversa al tempo trascorso dalla scossa principale). Questa connessione dimostra come la comprensione di alcune dinamiche di mercato non dipenda esclusivamente da fatti inerenti all'economia o alla finanza, ma da principi più generali della dinamica. Per questo motivo, un ulteriore tema di ricerca considera poi le analogie e le differenze tra le dinamiche dei prezzi nei

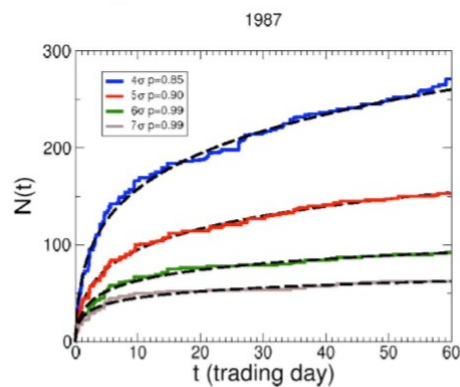
## Il mercato finanziario dopo un crash

$$N(t) \propto \left[ (t + \tau)^{1-p} - \tau^{1-p} \right] \leftarrow \text{Legge di Omori}$$

Dopo un forte terremoto...



Dopo il crash 19 ottobre 1987...



mercati finanziari e processi fisici come la turbolenza e i sistemi ecologici e biologici.

### I MERCATI FINANZIARI The chaos approach

Lo studio del caos si è rivelato essere una branca essenziale della fisica teorica. Oggigiorno, studi del caos sono stati presi in considerazione come potenziali strumenti di studio dell'economia e della finanza. Come già sottolineato, un mercato finanziario presenta numerose caratteristiche dei cosiddetti sistemi complessi, ovvero sistemi aperti le cui componenti interagiscono tra loro non linearmente in presenza di un feedback. I mercati finanziari rappresentano un sistema complesso a partire dalla loro struttura: milioni di investitori operano in diverse borse nelle quali si scambiano bonds, azioni, commodities, etc. Così come tutti i sistemi complessi, i mercati si muovono continuamente tra l'ordine e il disordine, saltando da comportamenti ordinati ad alcuni completamente disordinati in cui non è possibile riscontrare nessuno schema. I mercati finanziari sono considerati sistemi efficienti, vista l'impossibilità, almeno teoricamente, dell'arbitraggio, ossia la possibilità di guadagno con assunzione di rischio nullo. Il mercato efficiente è un sistema però idealizzato, mentre i mercati reali, al contrario, sono solo approssimativamente efficienti. Anche i fisici hanno spesso fatto uso di sistemi idealizzati, che si sono rivelati utilissimi per i loro studi. Dove sarebbe infatti la fisica senza idealizzazioni come il moto senza attrito o le trasformazioni reversibili in termodinamica? Ma allo stesso tempo, bisogna tener ben presente che i sistemi ideali sono solo approssimazioni dei sistemi reali e che dunque il comportamento di questi ultimi devierà sempre da quello di quelli ideali. Un approccio simile si può assumere nello studio dei sistemi finanziari: possiamo assumere condizioni ideali e all'interno di questa struttura ideale, sviluppare teorie e

svolgere test empirici.

## **I sistemi complessi**

La realtà che ci circonda è piena di sistemi complessi, come i semafori di una città o le cellule umane, ossia sistemi in cui un insieme di oggetti o agenti sono in competizione tra loro per ottenere risorse limitate. Questa competizione ha dei risvolti pratici ben visibili. Ad esempio, in un mercato finanziario, se all'improvviso un insieme di persone vuole vendere e quindi entra in competizione per trovare dei compratori ciò potrebbe portare ad un crollo del mercato e ad una conseguenza precipitazione del prezzo. L'obiettivo principale dello studio dei sistemi complessi è quello di comprendere, controllare e soprattutto prevedere questi fenomeni che emergono dal comportamento della folla, specialmente quelli potenzialmente catastrofici come epidemie, crolli della borsa e ingorghi del traffico. Ma è possibile prevederli oppure emergono dal nulla senza segni premonitori? Si può persino fare in modo di evitarli?

Un aspetto curioso di questi fenomeni è che essi possono generarsi anche senza un coordinatore. Non è dunque necessaria una "mano invisibile" come quella di Adam Smith, ma l'insieme di agenti si organizza da sé per far nascere il fenomeno. Inoltre, gli agenti all'interno del sistema tendono ad essere trascinati nei flussi della mentalità della folla: basti pensare alla dot-com bubble degli inizi degli anni 2000, esemplificatrice dell'"effetto gregge", ossia di una situazione in cui un agente abbandona le proprie idee e informazioni per seguire quelle altrui.

Poiché non esiste una definizione chiara e universalmente accettata, la maggior parte degli studiosi hanno delineato i tratti peculiari di un Sistema Complesso giungendo ad individuare alcune precise caratteristiche generali fra cui:

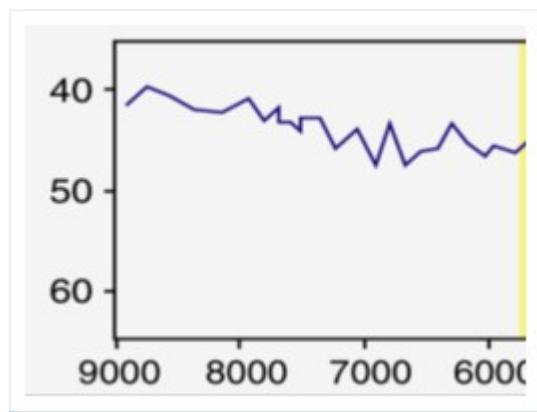
- molti agenti che interagiscono tra loro: per quanto riguarda i mercati finanziari gli agenti sono i vari investitori che effettuano transazioni;
- feedback: il comportamento degli agenti avviene in presenza di feedback, ossia è influenzato dalla memoria di quanto già accaduto nel sistema o in un altro luogo;
- non stazionarietà: non è possibile assumere che le proprietà statistiche e dinamiche che il sistema aveva in passato rimangano inalterate nel futuro del sistema;
- adattamento: un agente del sistema è in grado di modificare il proprio comportamento, in relazione al feedback che riceve, con l'obiettivo di migliorare le proprie performance;
- evoluzione: tutta la popolazione del sistema cambia, grazie anche agli agenti che interagiscono tra loro e si adattano sotto l'influenza del feedback, ed evolve. Per questo motivo, ad esempio, gli analisti finanziari parlano del mercato quasi come se fosse un essere vivente e lo denotano con caratteristiche umane, definendolo a seconda dei casi pessimista, negativo oppure fiducioso, ottimista. Il sistema solitamente rimane ben lontano dalla situazione di equilibrio, quindi che al suo interno possono presentarsi casi di comportamento estremo, quali i crolli della Borsa nel caso dei mercati finanziari;
- sistema aperto: il sistema può essere influenzato dall'ambiente in cui vive.

Prevedere l'andamento di un mercato finanziario è però completamente diverso da prevedere il meteo oppure i risultati ottenuti lanciando una moneta. Questa differenza è dovuta soprattutto alla diversa natura degli agenti: in un mercato, infatti, i traders provano tutti a prevedere i movimenti

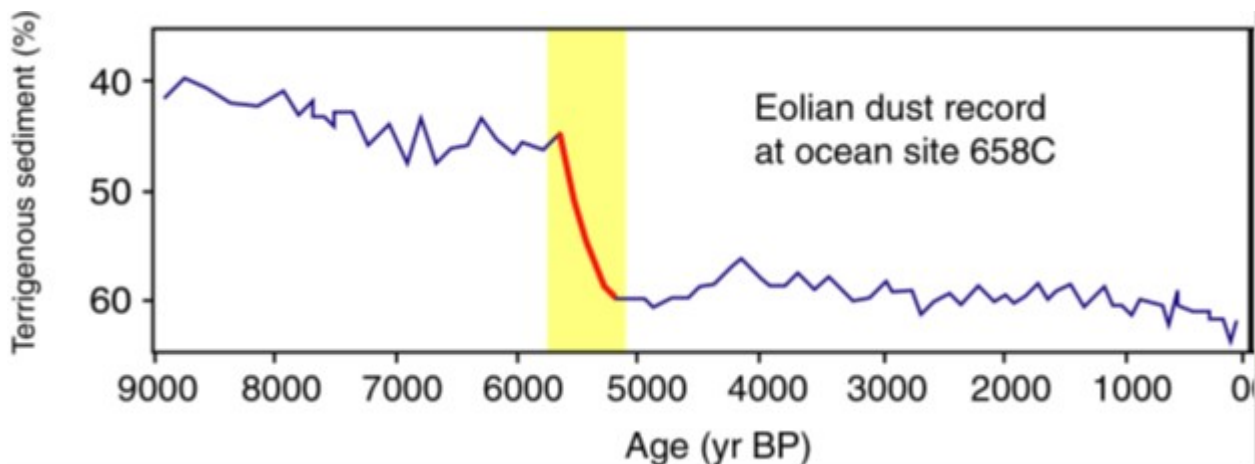
dei prezzi per decidere se vendere o comprare. Inoltre, il prezzo può variare a seconda della domanda e dell'offerta e questo ritorna come feedback agli stessi agenti che possono usufruirne per prendere decisioni. Ma, in quanto essere umani, bisogna tenere a mente che spesso queste decisioni sono determinate anche da pattern che essi credono di vedere nei grafici e magari non ci sono. Un mercato finanziario risulta quindi essere estremamente complesso perché è costellato di feedback, fenomeno che non si riscontra nel semplice lancio di una moneta. Essa è infatti costituita da molecole che, nonostante nell'insieme possano apparire comportarsi in modo complicato, obbediscono alle leggi di Newton e non sono in grado né di prendere decisioni né di influenzare quello che accadrà.

### È possibile prevedere le crisi finanziarie?

La meccanica quantistica e la statistica ci hanno mostrato come la realtà in cui viviamo sia dominata dall'imprevedibilità. Tuttavia, l'uomo sin dall'inizio della storia ha cercato di prevedere il futuro, con scarsi risultati: è infatti impossibile prevedere un terremoto, una valanga, una rivoluzione, un crollo in borsa. Se apparentemente il trend di un fenomeno appare in crescita ciò non ci autorizza a sostenere che sarà sempre così in futuro, perché la sequenza iniziale potrebbe essere la parte in salita di una funzione seno oppure la parte di un ramo di parabola. Ad esempio, dall'osservazione del seguente grafico potremmo prevedere il trend dopo la linea gialla e presupporre che continui con un andamento intorno ai 45.



Ecco il grafico reale. Questo mostra come tra 6000 e 5000 anni fa avviene una caduta repentina del tutto imprevedibile osservando i dati precedenti.



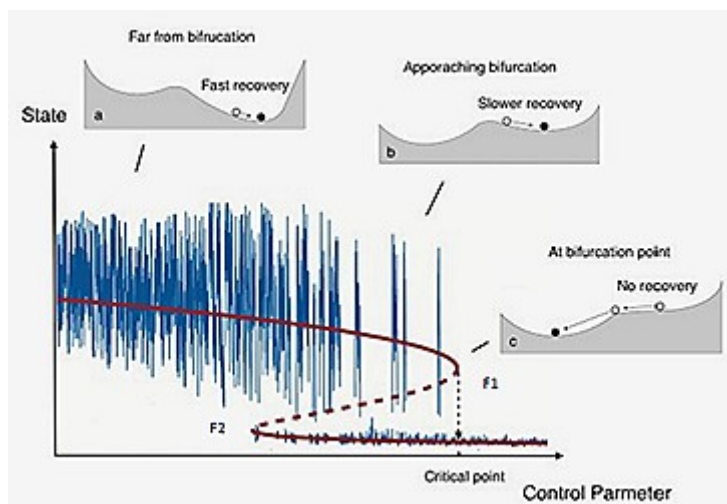
Lo stesso discorso può essere fatto per le crisi finanziarie, le quali non possono essere previste. Tuttavia, gli economisti hanno come obiettivo principale quello di tentare di limitare i danni potenziali. Dal 1970 sono emersi diversi modelli che descrivono l'evoluzione dei mercati finanziari. In essi i mercati sono assunti come sistemi "tranquilli" dove gli eventi estremi non accadono. Ciò si discosta enormemente dalla realtà, dove le numerose crisi finanziarie degli ultimi anni mostrano come i mercati siano più volatili e turbolenti di quanto ci si aspettasse. Le prime crisi nascono infatti da dipendenze drastiche, ossia da perdite a cui seguono altre perdite sino ad arrivare all'instabilità, ossia la bolla finanziaria che culmina con il suo scoppio e la crisi. Il meccanismo alla base di questa lenta maturazione è analogo al processo lento di riscaldamento dell'acqua che raggiunge il punto di ebollizione, in cui si ha una fase instabile di transizione verso il vapore. Si tratta di processi non lineari che non possono essere previsti da tecniche standard, ma rappresentano il riflesso di un comportamento collettivo endogeno. Dunque la causa di un crollo (crisi) deve essere cercata in un'instabilità insita nel sistema, che una qualunque piccola perturbazione è in grado di far scattare. Quindi l'obiettivo degli economisti è quello di cercare dei segnali d'allarme: infatti, la teoria prevede l'esistenza di un punto critico  $t_c$  in cui il sistema si spezzerà e cambierà di regime.

Seguendo una formulazione simile a quella dei precursori dei terremoti, Sornette ha postulato che i prezzi delle azioni seguono un pattern log-periodico prima che avvenga la crisi secondo l'equazione:

$$p_t = A + B \left( \frac{t_c - t}{t_c} \right)^{-m} \left[ 1 + C \cos(\omega \ln \frac{t_c - t}{t_c}) + \Phi \right]$$

per  $t < t_c$  e dove  $p_t$  indica il prezzo dell'azione al tempo  $t$ . Il tempo  $t_c$  rappresenta il tempo critico e cioè una singolarità dopo la quale ci sarà un crollo.  $A, B, C, m, \omega, t_c$  e  $\Phi$  sono tutti parametri liberi del modello.

Purtroppo non tutte queste previsioni fatte in anticipo dal gruppo di Sornette si sono poi materializzate. Altri gruppi di studiosi hanno tentato invece di applicare delle metodologie diverse per prevedere le transizioni critiche, come ad esempio il crollo di un titolo, attraverso l'analisi degli early signals. Questo modello considera i sistemi economici come processi a più stati di equilibrio, così come accade per i sistemi biologici. Dunque, i crolli dei mercati finanziari sono guidati da eventi endogeni e una loro previsione necessita prima della comprensione dei meccanismi alla base di questi sistemi. Gli early signals utilizzati si basano sulla misura del cosiddetto rallentamento critico, "critical slowing down" a cui il sistema si approssima quando si avvicina ad una transizione critica. Marten Scheffer propose nel 2009 di utilizzare questo approccio per lo studio dei dati finanziari. Nella figura è mostrato un sistema in avvicinamento al punto critico in cui anche una minuscola perturbazione può portare a cambiamenti significativi.



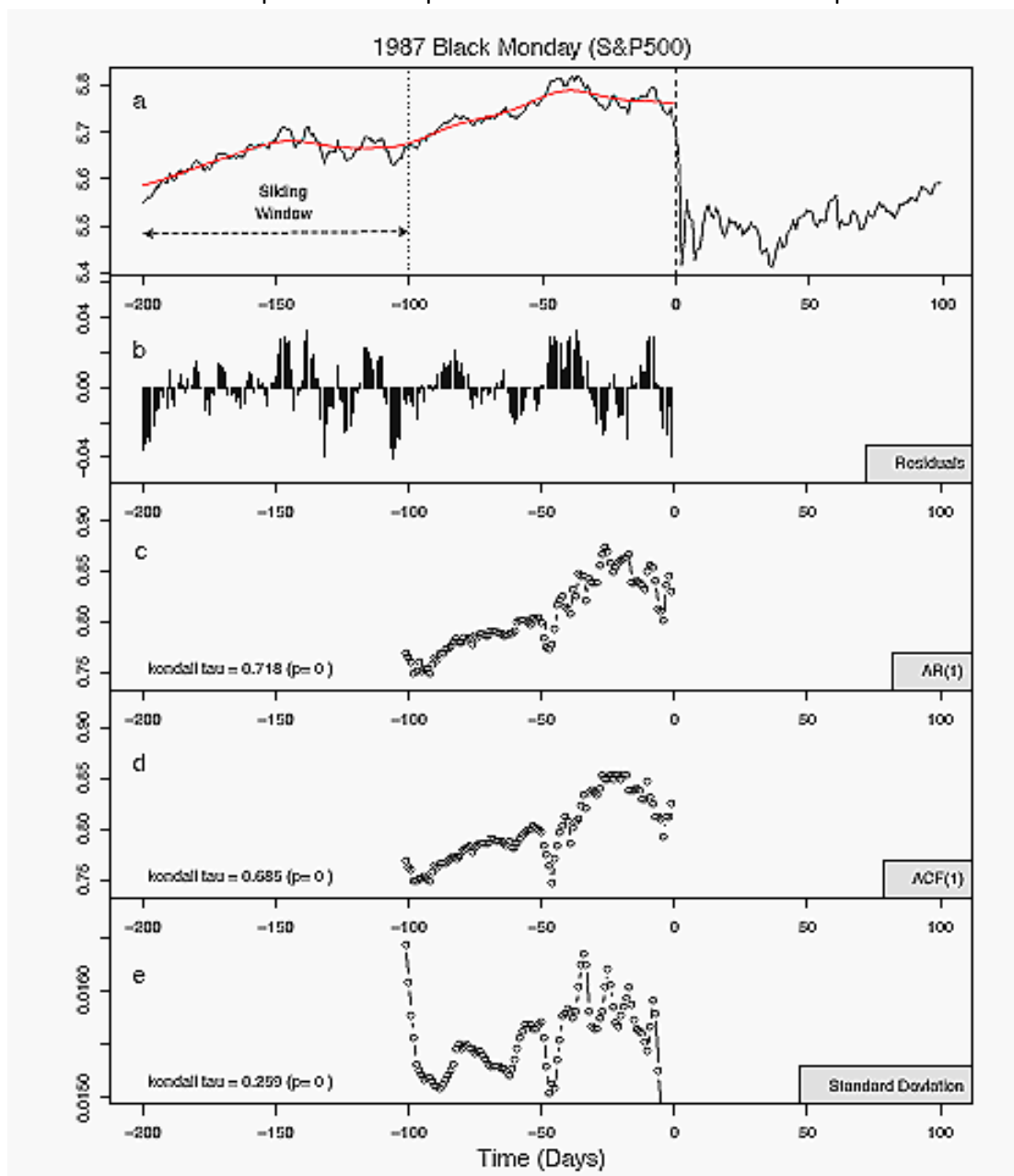
Una volta che un sistema dinamico si avvicina al punto critico, esso richiede molto tempo per recuperare l'equilibrio dopo una piccola perturbazione, in quanto il bacino di attrazione è poco profondo e quindi la forza di richiamo all'equilibrio è meno intensa (situazione b). Al contrario dopo il superamento del punto critico il sistema non ritorna più all'equilibrio (situazione c).

Questa teoria e' stata successivamente applicata alle seguenti serie temporali finanziarie per verificare se fosse possibile prevedere le transizioni critiche del passato dove c'erano stati dei crolli:

Crisis	Time	Time Series	Sample Size ( <i>N</i> )
Black Monday	1987	S&P500 index	200
Asian Crisis	1997	Hangseng index	500
Dot.com	2000	NASDAQ composite	400



Come early signals sono stati presi il coefficiente di autocorrelazione e la varianza dei ritorni. La figura mostra l'analisi dei segnali prima del cosiddetto lunedì nero analizzando l'indice S&P500. Nella sezione a) è riportato il logaritmo dell'indice originario in cui la linea verticale indica la transazione critica avvenuta nel 1987. In b) sono mostrati i residui rispetto alla linea di tendenza dell'indice (ossia la linea centrale rossa). In c), d) vengono riportati gli indici di autocorrelazione mentre in e) quello di varianza. Nei grafici possiamo notare come il grande crollo del Lunedì nero è stato preceduto da un trend a salire, suggerendo che il sistema S&P500 mostra un rallentamento critico (critical slowing down) prima di raggiungere il punto di transizione critica. Risultati analoghi sono stati ottenuti analizzando le serie della crisi asiatica e della bolla Dot.com. Al contrario, per la recente crisi del 2008 i risultati non sono stati univoci in quanto parametri diversi hanno mostrato trend opposti (non tutti in crescita). Questo significa che la metodologia del critical slowing down in realtà necessita di metodi più sofisticati per aumentare l'accuratezza delle previsioni.



## **Conclusioni**

*“Qualunque cosa faccia il mercato azionario, la gente vuole sapere come l’ha fatta, perché, e per quale motivo non ha fatto qualcosa di diverso”*

Richard S. Wurman, professore al Massachusetts Institute of Technology di Boston e uno dei massimi esperti al mondo di gestione dell’informazione, descrive con queste parole l'ansia di informazione che caratterizza il nostro tempo. Dunque, lo studio dei mercati finanziari con il fine di arrivare a previsioni sempre più accurate e pari a matematiche certezze è destinato a svolgere sempre più un ruolo di primo piano nell'economia globale. Ciò è ben evidenziato anche dalla maggiore richiesta di fisici teorici e matematici nei campi delle scienze sociali. Secondo un'indagine della rivista Science, ben due studiosi su quattro che hanno ricevuto il dottorato in fisica teorica ad Harvard lavorano ora a Wall Street. Oggi l'econofisica rappresenta quindi una branca della fisica statistica e teorica stimolante per quei fisici che sono interessati a problemi interdisciplinari e che guardano con favore alle potenzialità applicative delle loro ricerche. L'impiego di metodi tipici della fisica in altre discipline quali appunto quelle economiche è stato reso possibile grazie all'enorme sviluppo negli ultimi anni di nuovi concetti che hanno messo in discussione il mondo tradizionale della fisica newtoniana e dei modelli lineari, per lasciare spazio allo studio delle dinamiche non lineari, del caos e dei sistemi complessi. Questi sviluppi hanno permesso la nascita di nuovi settori di ricerca e la diffusione degli approcci tipici della fisica all'economia e alla finanza, in quanto i mercati globali presentano le stesse caratteristiche dei sistemi complessi. Molte di queste proprietà tipiche dei sistemi fisici sono state rinvenute anche in moltissimi altri fenomeni come i terremoti, il DNA, le diffusionsi delle epidemie... Come riporta lo scienziato Dubkov:

*“ E’ meraviglioso come la stessa equazione di diffusione possa descrivere il comportamento dei neutroni in un reattore nucleare, la luce nell’atmosfera, la variazione degli indici di borsa, il movimento delle particelle di polvere sospese in un fluido ecc. Il fatto che fenomeni completamente diversi vengono descritti dalle stesse identiche equazioni e’ un’indicazione diretta che il problema non riguarda il meccanismo concreto del fenomeno quanto piuttosto le qualità’ comuni della classe di fenomeni simili.”*

Questa analogia tra sistemi apparentemente così diversi tra loro permette di considerare l'economia e i problemi da essa derivati quali semplici fenomeni, come affermato dallo stesso Stanley. Dunque, conoscere le leggi della fisica rappresenta un enorme vantaggio per gli economisti che si assumono l'arduo compito di maneggiare e comprendere l'immensa mole di dati e previsioni. Ecco quindi mostrato il connubio tra discipline così diverse come l'economia e la fisica, unione dalla quale poco meno di trent'anni fa nacque proprio l'econofisica.

## Sitografia e Bibliografia

Mantegna RN, Stanley HE (2000) An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance. Cambridge University Press, Cambridge.

<http://matematica.unibocconi.it/articoli/econofisica-fondamenti-di-una-nuova-scienza>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fat-tailed\\_distribution](https://en.wikipedia.org/wiki/Fat-tailed_distribution)

<https://www.gaussalgo.com/econophysics/>

<https://www.youtube.com/watch?v=R0A3fGas9b8>

<https://www.youtube.com/watch?v=R0A3fGas9b8&t=444s>

<http://r-libre.telug.ca/1166/1/S1053837213000205.pdf>

<http://www.cambridgepluralism.org/econophysics-the-future-of-economics.html>

<https://www.isc.cnr.it/research/topics/statistical-physics-complexity/social-systems/what-is-econophysics/>

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1108/1108.0977.pdf>

<https://medium.com/the-physics-of-finance/whats-the-use-of-econo-physics-dae83e0d7d8a>

[http://swarma.org/thesis/program/jake\\_357.pdf](http://swarma.org/thesis/program/jake_357.pdf)

<http://quantidiscienza.blogspot.it/2015/10/quando-la-fisica-arriva-wall-street.html>

[http://www.sbfisica.org.br/bjp/files/v34\\_1039.pdf](http://www.sbfisica.org.br/bjp/files/v34_1039.pdf)

[http://ppplab3.unipv.it/Pubblica/Magistrali/montagnag\\_LM.pdf](http://ppplab3.unipv.it/Pubblica/Magistrali/montagnag_LM.pdf)

<http://www.piar.it/pdf/f252.pdf>

[http://www1.unipa.it/ocs/sito-strategico/relazioni/pubblicazioni\\_secondo\\_anno/PA5.pdf](http://www1.unipa.it/ocs/sito-strategico/relazioni/pubblicazioni_secondo_anno/PA5.pdf)

<http://www.aracneeditrice.it/pdf/9788854822047.pdf>

<https://www.ba.infn.it/~cufaro/didactic/EconoPhysics.pdf>

<http://www.dmf.unicatt.it/~fisteam/corsi/fisicaoltre/seminario-montagna.pdf>

<http://amslaurea.unibo.it/14613/1/tesi.pdf>

<https://areeweb.polito.it/ricerca/noiselab/Pdf/Wheredowestandoneconophysics.pdf>

[http://www.sbfisica.org.br/bjp/files/v34\\_1039.pdf](http://www.sbfisica.org.br/bjp/files/v34_1039.pdf)

<http://cob.jmu.edu/rosserjb/The%20Nature%20and%20Future%20of%20Econophysics.doc>