

GUIDO MONTAGNA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA
DIPARTIMENTO DI FISICA NUCLEARE E TEORICA
I.N.F.N. – SEZIONE DI PAVIA
guido.montagna@pv.infn.it

Che cos'è l'econofisica?

*La didattica e la ricerca
in econofisica a Pavia*

The [mostly young] econophysics group

Giacomo Bormetti [Post-doc]

Valentina Cazzola [PhD]

Danilo Delpini [PhD]

Giacomo Livan [PhD]

Oreste Nicosini

Pavia, 6 Ottobre 2009

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

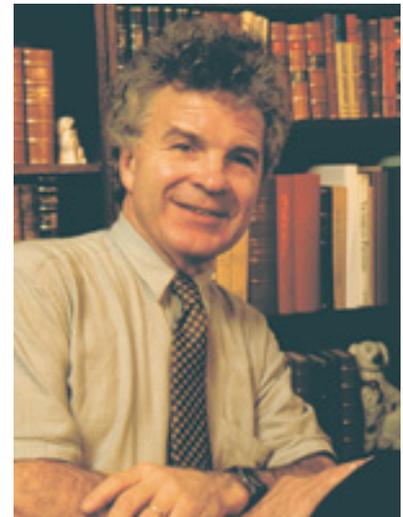
Boston University

Medaglia Boltzmann 2004

“For his influential contributions to several areas of statistical physics...”

Physica A **285** (2000) 1

Exotic statistical physics, with applications to biology, medicine and economics





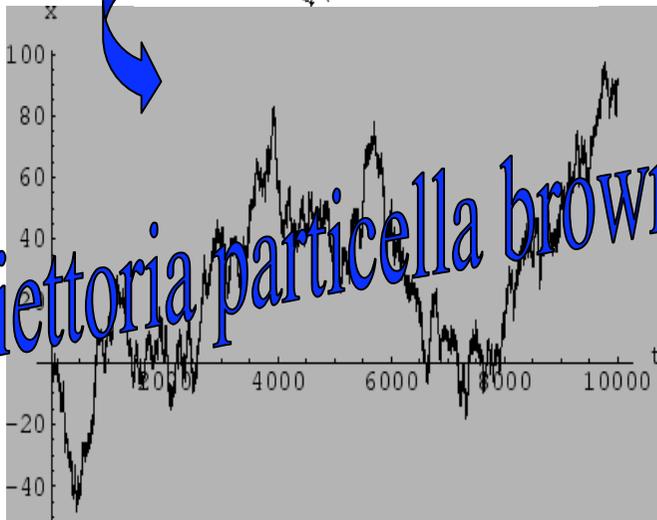
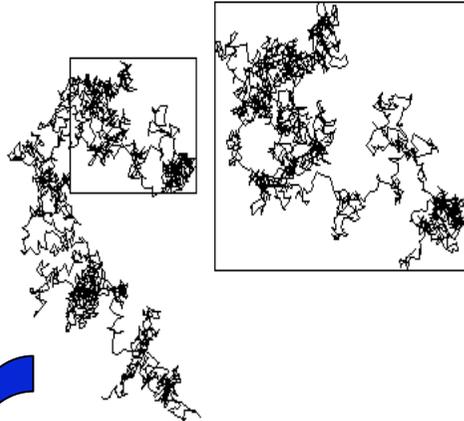
Langevin and Einstein in 1911

Fisica & Finanza



Louis Bachelier 1870-1946

Fenomeno fisico: moto browniano



Traiettoria particella browniana

A. Einstein, *Annalen der Physik* **17** (1905) 549
P. Langevin, *Comptes. Rendues* **146** (1908) 530

Fenomeno socio-economico: scambi in un mercato finanziario

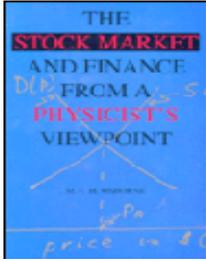


#H-FIN-536 • © Bill Bachmann/TSS XCV • rbair@aol.com



Andamento indice finanziario

L. Bachelier, *Théorie de la Spéculation*
Ann. Sci. Ecole Norm. Super. **17** (1900) 21



Il moto browniano in finanza

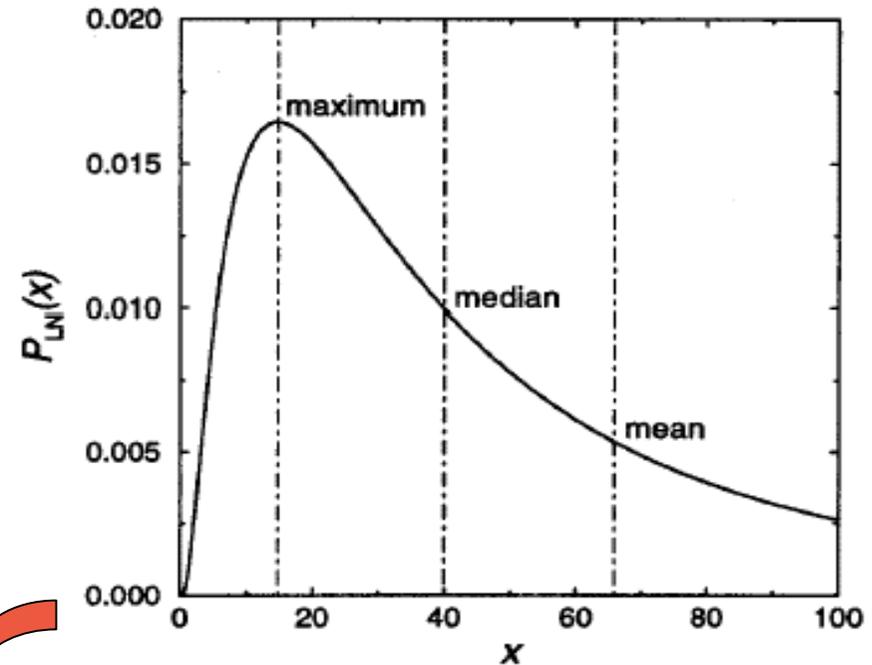


Moto browniano geometrico

$$dS = rSdt + \sigma SdW$$

Lemma di Ito

$$d \ln S = \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dW$$



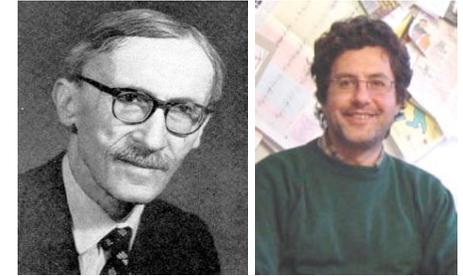
Distribuzione lognormale dei prezzi

M.F.M. Osborne, Operations Research 7 (1959) 145

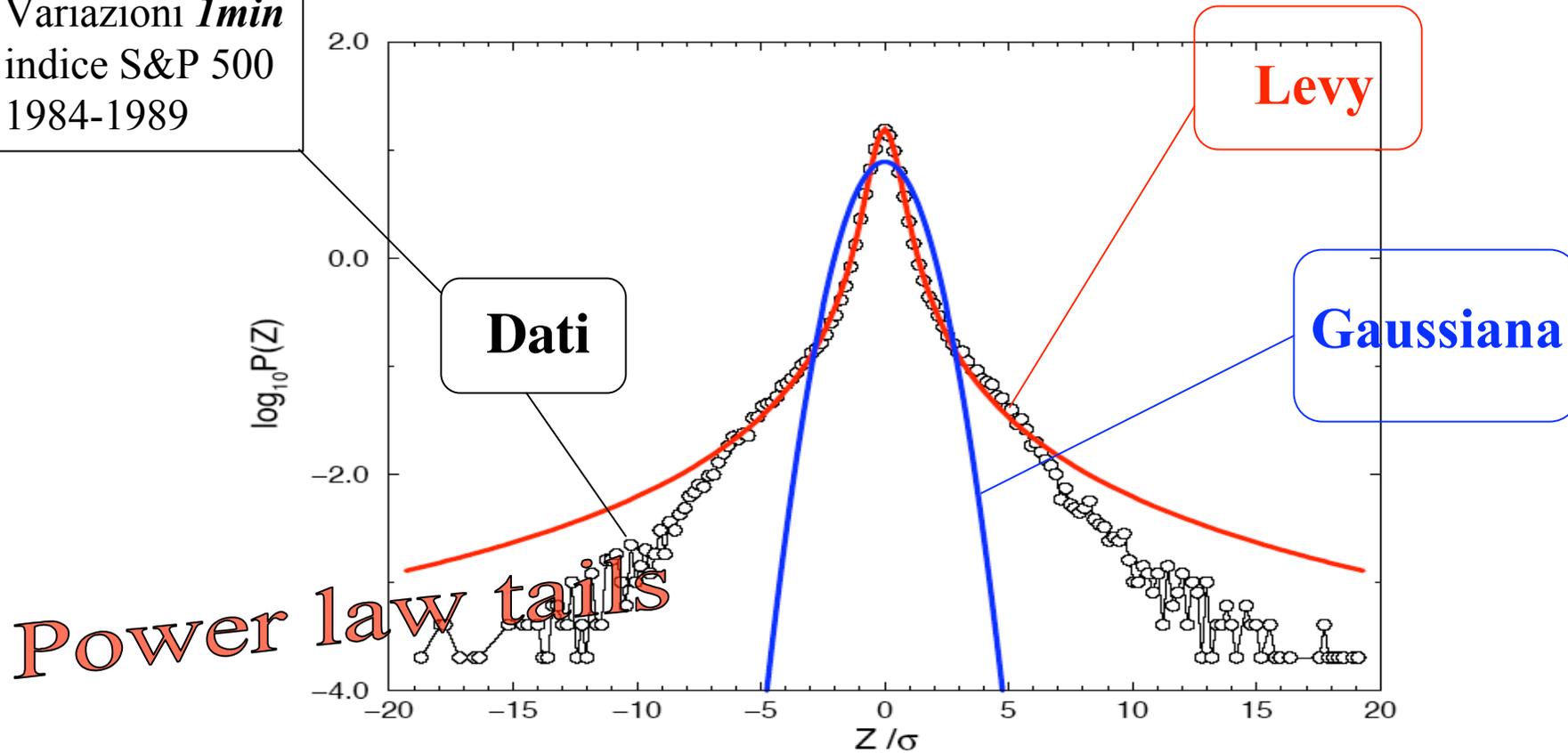
P.A. Samuelson, Industrial Management Review 6 (1965) 13



Il contributo *originale* dei fisici e matematici:
analisi empirica dei dati finanziari



Variazioni *1min*
indice S&P 500
1984-1989



B.B. Mandelbrot
J. Business **36** (1963) 394

R.N. Mantegna and H.E. Stanley
Nature **376** (1995) 46
Phys. Rev. Lett. **73** (1994) 2946



Il corso di econofisica



I. Teoria dei processi stocastici

Moto browniano e interpretazioni di Einstein e di Langevin.

Random walk, processi di diffusione e legame col teorema del limite centrale.

Processi di Markov, di Wiener e loro proprietà. Moti browniani frazionari.

Equazione di Fokker-Plank. Equazioni differenziali stocastiche e cenni di calcolo stocastico: processi di Ito e di Ornstein-Uhlenbeck. Integrale sui cammini.

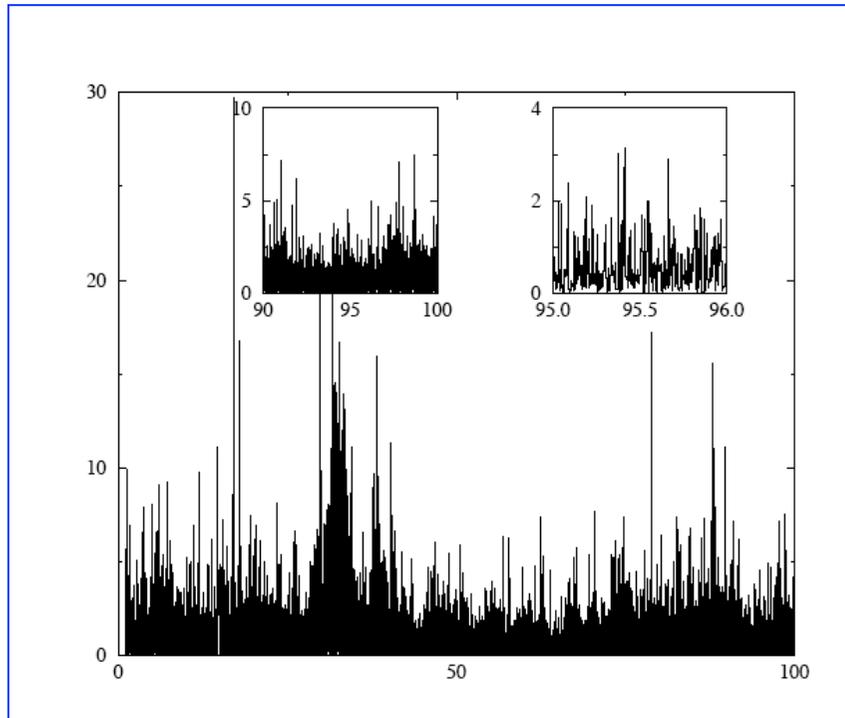
II. Econofisica e finanza quantitativa

Introduzione ai mercati finanziari e agli strumenti finanziari. Moto browniano geometrico e distribuzione lognormale dei prezzi. Opzioni e modello Black&Scholes. Limiti del modello di Black&Scholes. Opzioni e metodi numerici (alberi binomiali e metodo Monte Carlo). Obbligazioni e modello di Vasicek. Analisi empirica dei dati finanziari ad alta frequenza: distribuzioni stabili di Levy, leggi di potenza nella natura e società, teorema del limite centrale generalizzato e moderni modelli della dinamica finanziaria.

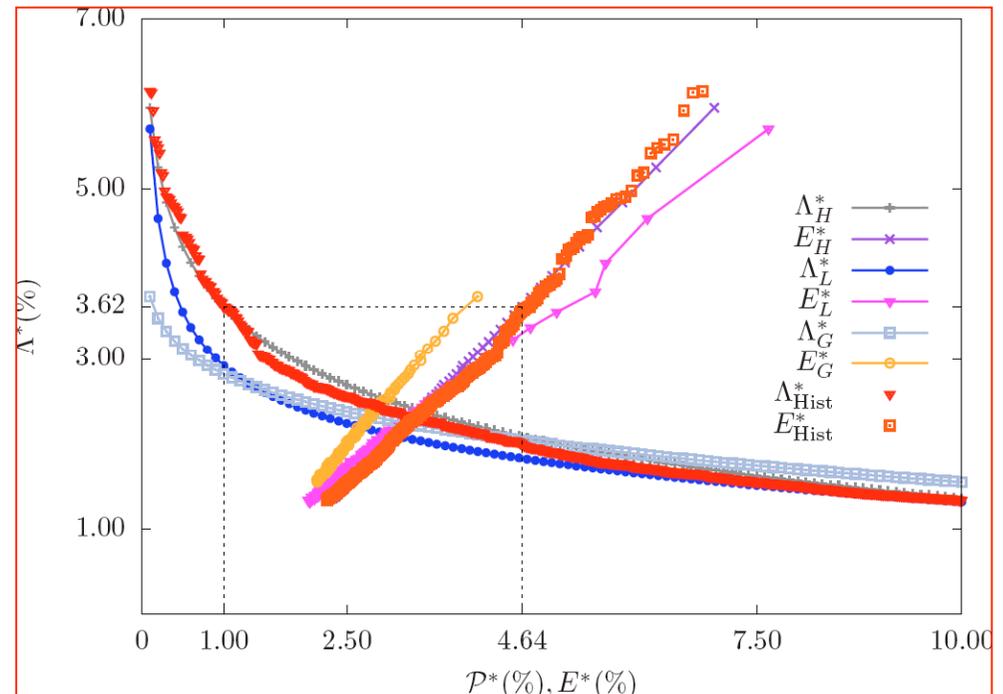
Altri corsi utili: Meccanica Statistica, Metodi Computazionali della Fisica, corsi di finanza a Matematica ed Economia

Attività di ricerca

Variazioni giornaliere indice
Dow-Jones nel secolo 1900-2000



Option pricing and risk management
under stochastic volatility



G. Bormetti, V. Cazzola, G. Montagna and O. Nicosini, *Probability Distribution of Returns in the Exponential Ornstein-Uhlenbeck Model*, *J. Stat. Mech.* (2008) P11013

G. Bormetti, V. Cazzola and D. Delpini, *Option Pricing Under Ornstein-Uhlenbeck Stochastic Volatility*,
arXiv:0905.1882, submitted to *Int. J. Theor. & Appl. Finance*

G. Bormetti, V. Cazzola, G. Livan, G. Montagna and O. Nicosini, *A Generalized Fourier Transform Approach to Risk Measures*, arXiv:0909.3978

Tesi di laurea & dottorato

Tesi di Laurea Magistrale

A. A. 1999-2000 **Nicola Moreni** (PhD a Parigi, ora BancaIMI)
Processi stocastici dalla fisica alla finanza

A. A. 2002-2003 **Francesca Rossi** (PhD a London School of Economics)
Integrali sui cammini in fisica e in finanza

A. A. 2004-2005 **Davide Davio** (ora a FMR Consulting)
Modelli e simulazioni della dinamica dei mercati finanziari

A. A. 2005-2006 **Lorenzo Fermi** (Master in finanza a Torino, ora stage in BancaIMI)
Stochastic volatility models in econophysics

A. A. 2006-2007 **Valentina Cazzola** (ora in Dottorato a Pavia & FMR Consulting)
Pricing di opzioni nei modelli a volatilità stocastica

A. A. 2007-2008 **Giacomo Livan** (ora in Dottorato a Pavia)
Stochastic models for energy markets

Tesi di Dottorato

2003-2006 **Giacomo Bormetti** (ora assegnista Post-doc IUSS & INFN)
A statistical physics approach to quantitative finance

2005-2007 **Enrica V. Cisana** (ora in Risk Management a Dublino)
Non-Gaussian stochastic models and their applications in econophysics

+ tre tesi attualmente in corso (**V. Cazzola, D. Delpini e G. Livan**)

Per riassumere...



- L'econofisica è un nuovo campo di ricerca **interdisciplinare** dove i metodi propri della fisica statistica e teorica possono essere applicati con successo, *con possibilità di tesi di laurea e dottorato*.
- In questo settore sono nati negli ultimi anni **corsi ``non convenzionali'' [prima inesistenti]** in quelle Università italiane che vantano gruppi di ricerca attivi in tale campo.
- L'approccio dei fisici consiste sia in ricerche di tipo empirico che nello sviluppo di modelli teorici ed aspira ad essere **complementare** all'attività di economisti, matematici e statistici [ma anche collaborativo].
- **L'econofisica ha già contribuito in pochi anni e può continuare a contribuire alla formazione di ``nuove'' figure professionali di fisici con una collocazione interessante (e forse anche stimolante) in banche, società di intermediazione mobiliare e consulenza [in Italia e all'estero]. Nonchè nella ricerca!**

Le radici e la storia dell'econofisica

- R. Brown (1827), L. Bachelier (1900), A. Einstein (1905), P. Langevin (1908), N. Wiener (1923), K. Ito (1944)...: la nascita dei processi stocastici e del calcolo stocastico.
- Premi Nobel per l'economia nel 1970 a P. Samuelson e nel 1997 a M. Scholes e R. Merton, per il modello di Black-Scholes&Merton.
- Anni'80: la borsa diviene telematica.
- 1990-oggi: articoli pubblicati su *Nature*, *Physica A*, *Physical Review E*, *Physical Review Letters*, *European Physical Journal B*...e nuove riviste come *Quantitative Finance*
- 1997: ``... il settore finanziario ha dato lavoro al 48% dei nuovi Ph.D. in **matematica e fisica...**”, *Nature* 392 (1998) 496.
- 1999: La European Physical Society riconosce l'**econofisica** come nuova area di ricerca.
- 2000-oggi: vengono pubblicati libri di testo da prestigiose case editrici.
- 2000-oggi: nascono corsi universitari di econofisica e percorsi di formazione professionalizzanti post-laurea (Master).
- 2003: premio Nobel per l'economia a R. Engle (laurea in **fisica**, Ph.D. in finanza).
- 2009, ``Applications of Physics to Financial Analysis”, Tokio, Marzo 2009
``Econophysics Colloquium 2009”, Erice, Ottobre 2009

Il moto browniano

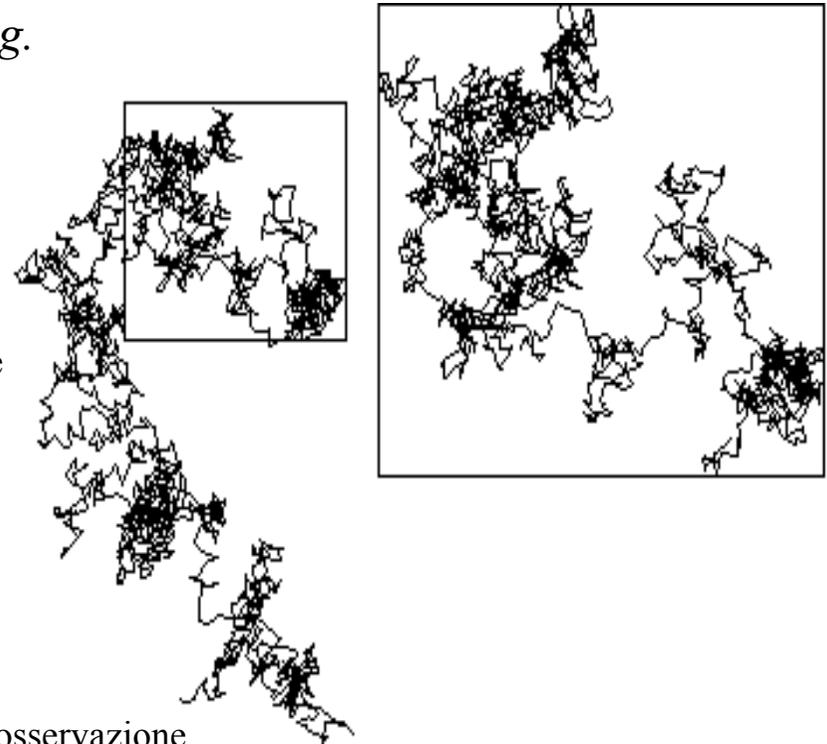


R. Brown, botanico scozzese (1827)

Grani di materia, sia organici che inorganici, in sospensione in un liquido sono soggetti a un *moto caotico, a zig-zag*.

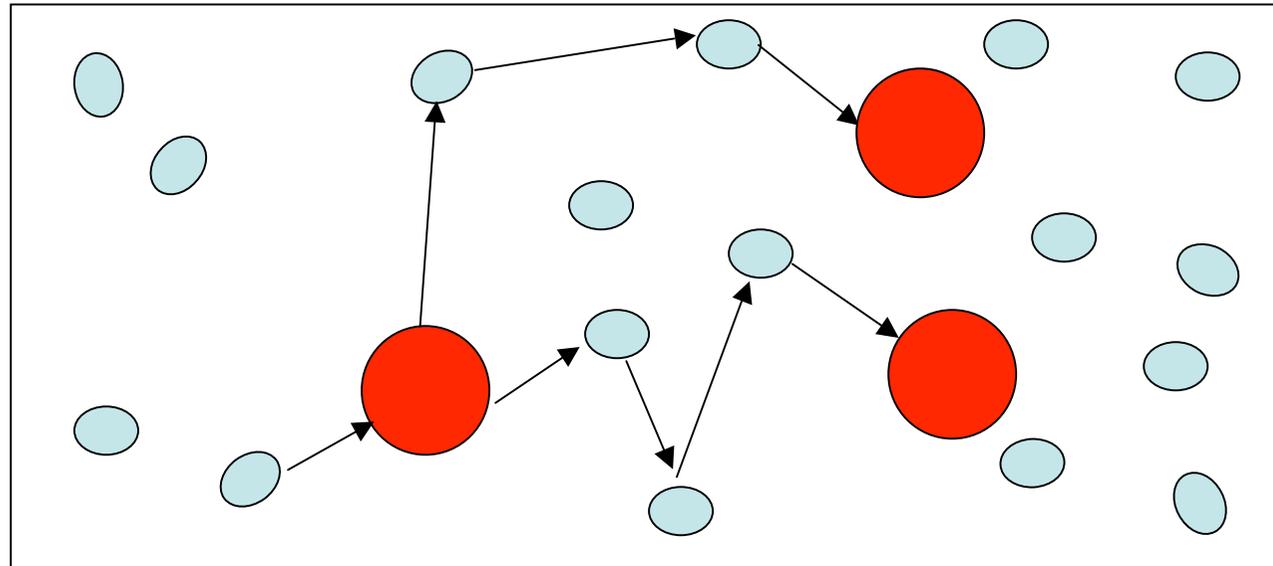
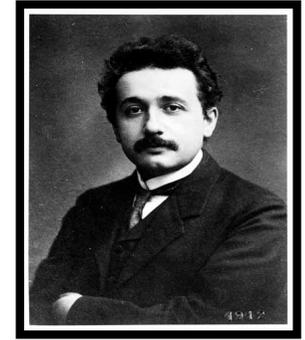
Fenomenologia:

1. Il moto è molto irregolare, e la traiettoria sembra non avere tangente in alcun punto
2. Due particelle appaiono muoversi indipendentemente
3. La composizione e la densità delle particelle non ha alcun effetto
4. Più piccole le particelle, più attivo il moto
5. Meno viscoso il fluido, più attivo il moto
6. Più elevata la temperatura, più attivo il moto
7. Il moto non cessa mai
8. Aumentando la risoluzione del microscopio e variando la scala di osservazione, si osserva un moto simile (*auto-similarità* o *invarianza di scala*)





La teoria di Einstein (1905)

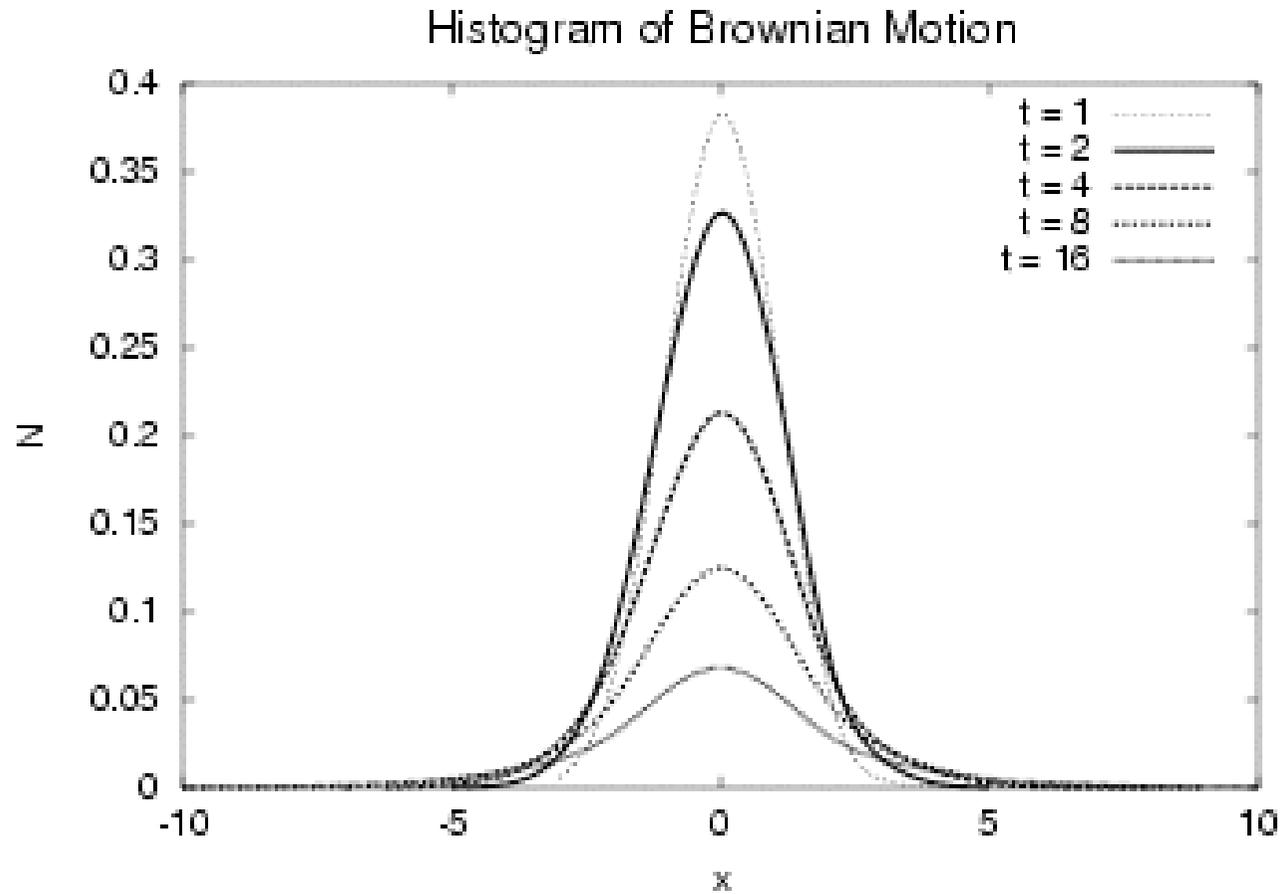


“According to the molecular kinetic theory of heat, bodies of microscopically-visible size suspended in a liquid will perform movements of such magnitude that they can be easily observed in a microscope...It is possible that the movements to be discussed here are identical with the so-called “Brownian molecular motion”: however, the information available to me regarding the latter is so lacking in precision, that I can form no judgement in the matter.”

A. Einstein

Annalen der Physik **17** (1905) 549

La gaussiana che si allarga nel tempo



$$\sigma^2 = 2Dt$$

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$

Il Nobel per la fisica a J.B. Perrin (1926)

$$k_B = \frac{R}{N}$$

Numero di Avogadro

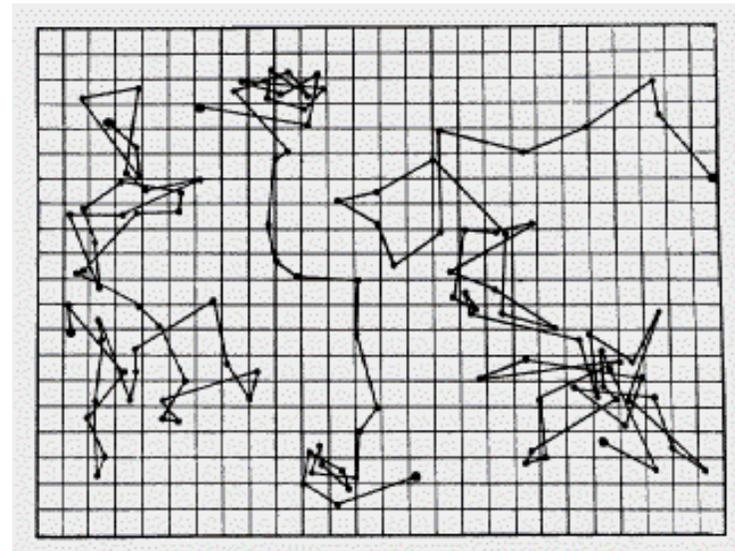


The Nobel Prize in Physics 1926

"his work on the discontinuous structure of matter..."



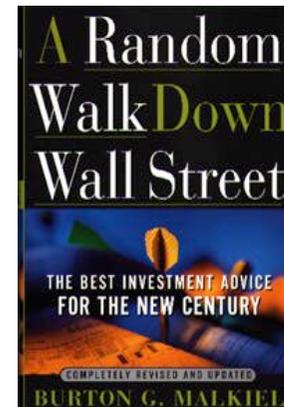
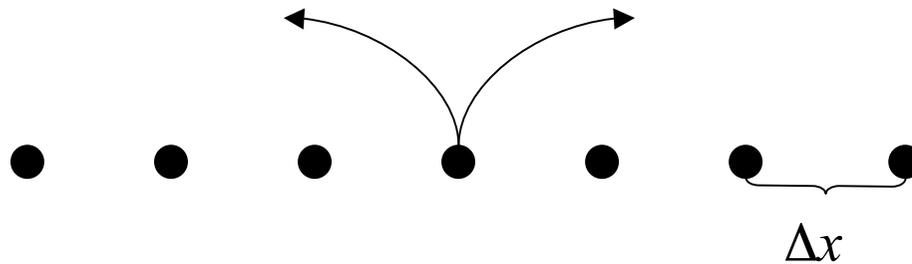
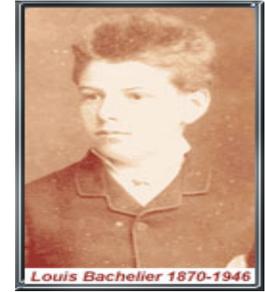
Jean Baptiste Perrin



Traiettorie di una particella Browniana registrate da Perrin a intervalli di 30-50 secondi. Da J.B. Perrin, *Les Atomes*, 1948.



Bachelier e il random walk (1900)

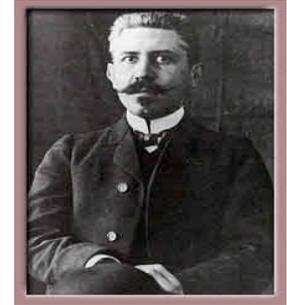


1900: Louis Bachelier, allievo di H. Poincarè, sviluppa nella sua tesi di dottorato *Théorie de la Spéculation* il modello del random walk per spiegare l'andamento di titoli scambiati nella borsa di Parigi, cinque anni prima dell'interpretazione di Einstein del moto browniano.

L. Bachelier

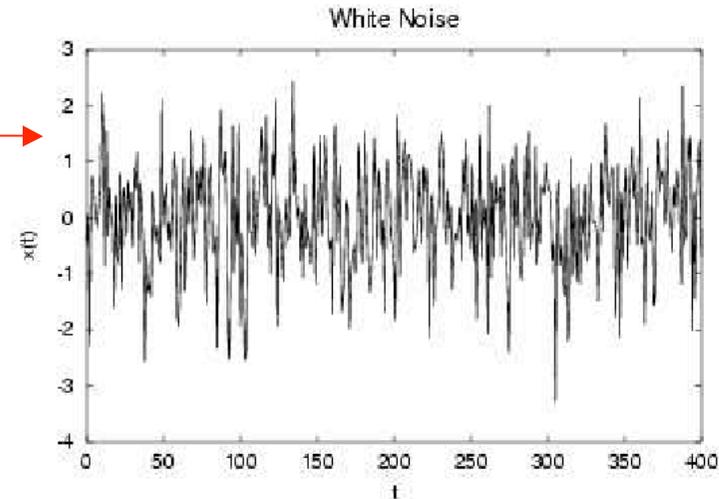
Ann. Sci. Ecole Norm. Super. **17** (1900) 21

L'equazione di Langevin (1908)



$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -6\pi\eta r \frac{dx}{dt} + X$$

$$\langle X \rangle = 0$$



$$\langle x^2 \rangle - \langle x_0^2 \rangle = 2 \frac{k_B T}{6\pi\eta r} t$$

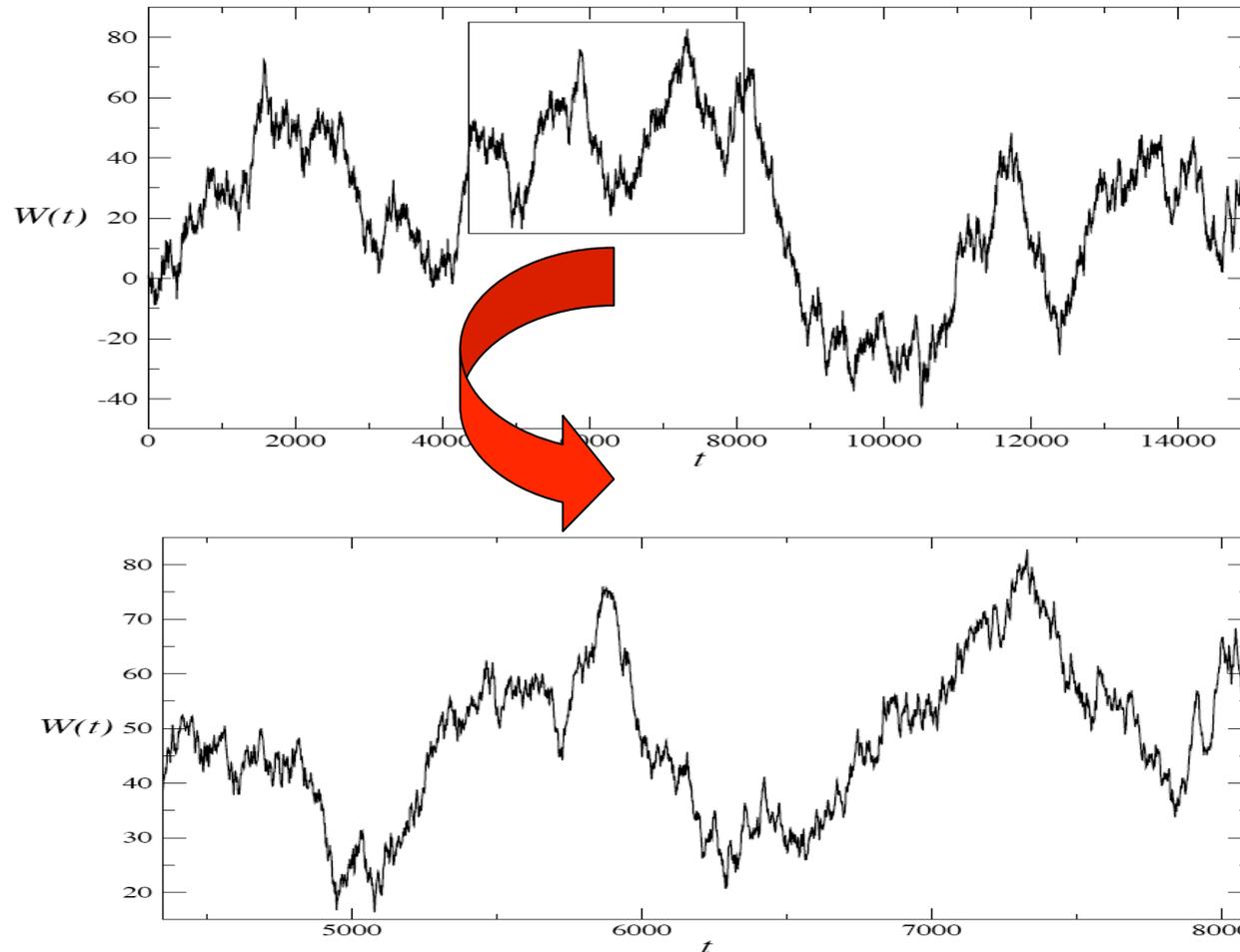


Langevin and Einstein
in 1911

P. Langevin
Comptes. Rendues **146** (1908) 530



Processi di Wiener e invarianza di scala (1923)



N. Wiener
Journal of Math. and Phys. **2** (1923) 132

I derivati finanziari: le opzioni



? Premio?

Il modello Black&Scholes (1973)



Mediante un'opportuna combinazione di azioni S e di opzioni O è possibile costruire un portafoglio “privo di rischio”, da cui

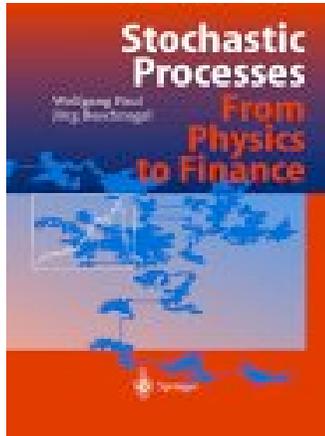
$$\frac{\partial O}{\partial t} + rS \frac{\partial O}{\partial S} + \frac{\sigma^2}{2} S^2 \frac{\partial^2 O}{\partial S^2} = rO$$

Eq. Black&Scholes

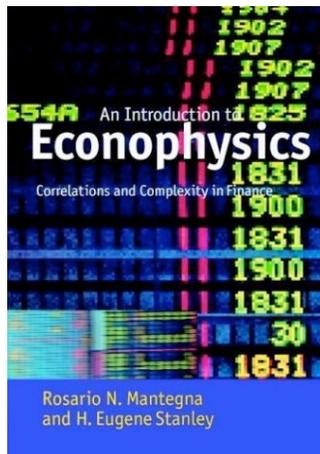
F. Black and M. Scholes

Journal of Political Economics **72** (1973) 637

L'econofisica e i libri di testo



W. Paul and J. Baschnagel - *Stochastic Processes from Physics to Finance*, Springer



R.N. Mantegna and H.E. Stanley - *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*, Cambridge University Press



Per saperne di più

<http://www.econophysics.org/>

<http://www.unifr.ch/econophysics/>

F. Lillo, S. Micchichè and R.N. Mantegna

Econofisica: il contributo dei fisici allo studio dei sistemi economici

Il Nuovo Saggiatore **21** (2005) 68

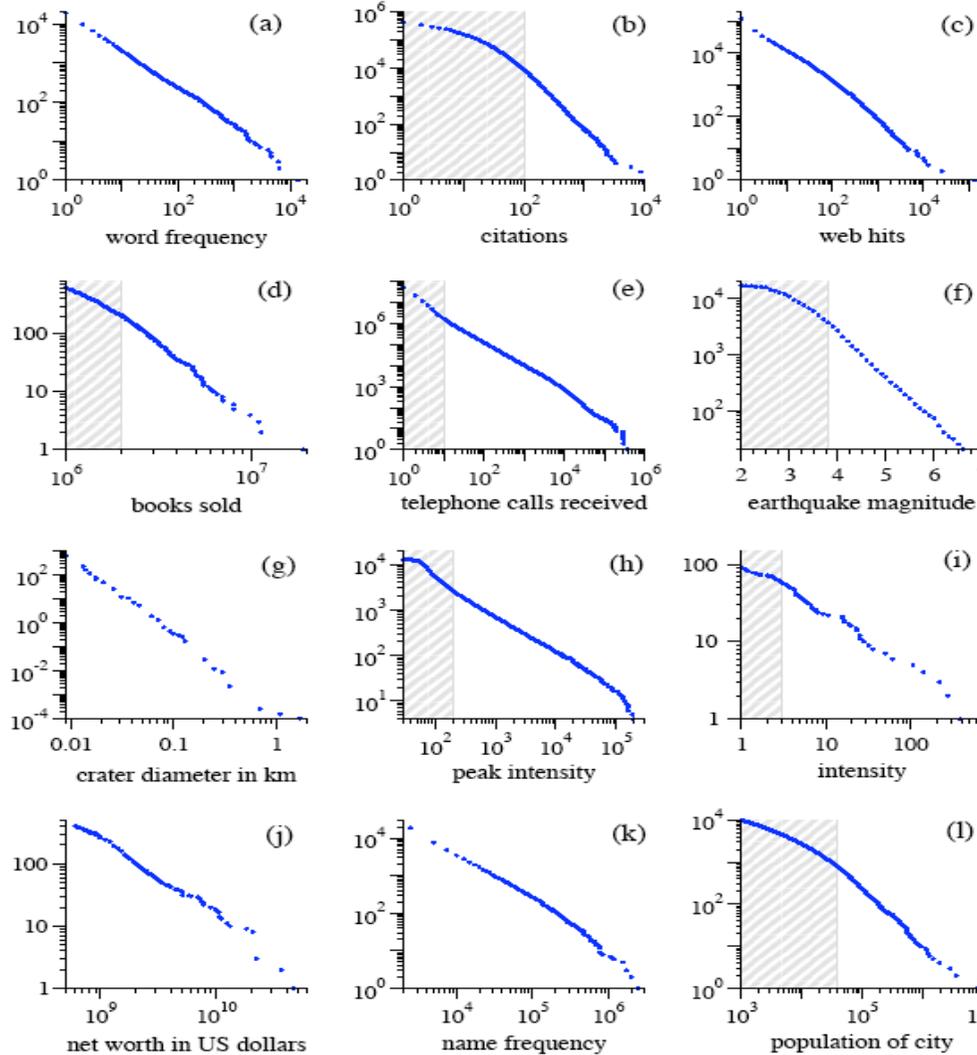
G. Montagna

Una nuova frontiera della fisica teorica: l'econofisica

Istituto Lombardo (Rend. Sc.) B139 (2005) 175

Le impronte digitali dei sistemi complessi

Legge di Zipf



Legge di Gutenberg-Richter

Legge di Pareto

M.E.J. Newman
Power laws,..
cond-mat/0412004