

Cosa è il tempo

la meccanica quantistica getta nuova luce
su di un misterioso concetto

Luca Gammaitoni

NiPS Laboratory, University of Perugia

29 Aprile, 2023 – Murate Art District, Firenze



University of Perugia (IT)
AD 1308



NiPS Laboratory
Noise in Physical Systems



Cristina Diamantini, Francesco Cottone,
Igor Neri, Alessandro di Michele, Maurizio Mattarelli,
Giacomo Clementi, Raffella Pellegrini, Luca
Gammaitoni, Paolina Cerlini



ICT-Energy ZEROPOWER

www.nipslab.org

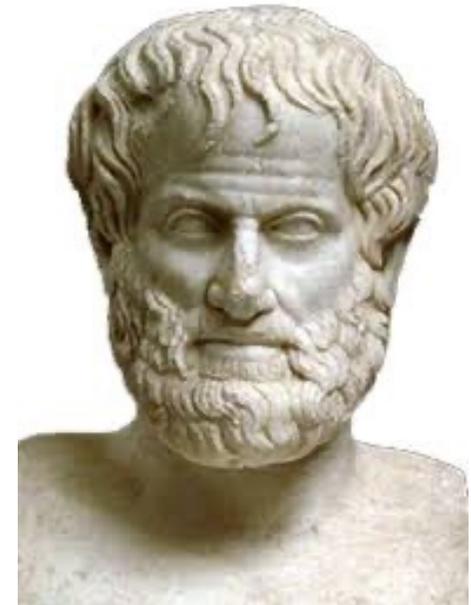
Come ci accorgiamo del passare del tempo?



Il tempo ed il movimento sono in stretta relazione

. . . Tuttavia il tempo non è neanche, senza mutamento: qualora, infatti, non si verifichi alcun mutamento nella nostra mente o non ci accorgiamo di mutare, non ci sembra che sia passato del tempo, proprio come accade al risveglio a coloro di cui si racconta che a Sardi dormirono presso gli eroi: costoro, infatti, collegano l'ora posteriore a quello anteriore e li rendono uno, eliminando ciò che vi è nel mezzo per il fatto di non averlo percepito. Come, dunque, se l'ora non fosse diverso, ma fosse uno e medesimo, non vi sarebbe tempo, cos'ì anche nel caso in cui non ci si accorga che `e diverso, non sembra che vi sia del tempo nel mezzo.

Aristotele, Fisica, IV II



Due idee del tempo

L'idea che il tempo esista solo in presenza di un cambiamento è alla base di quelle che in filosofia si chiamano **Teorie relazionali del tempo**. In questo filone forse si può ascrivere la posizione di Parmenide che sosteneva la illusorietà del cambiamento e quindi del tempo.



Leibniz

Alle teorie relazionali del tempo si oppongono le **Teorie sostantive del tempo**, secondo le quali il tempo esiste anche in assenza di alcun evento e quindi di qualcosa che cambi. Di solito si fa risalire a Newton l'origine di questa concezione assoluta del tempo.



Is. Newton



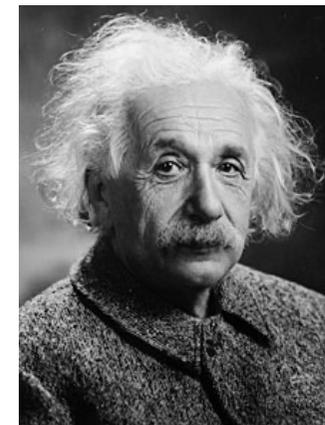
La teoria relazionale al lavoro

Le idee di spazio e tempo quindi non sono idee separate o distinte, ma semplicemente quelle del modo o ordine in cui gli oggetti esistono: o in altre parole, è impossibile concepire un vuoto o una estensione senza materia, o un tempo, quando non c'è successione o cambiamento in alcuna esistenza reale.

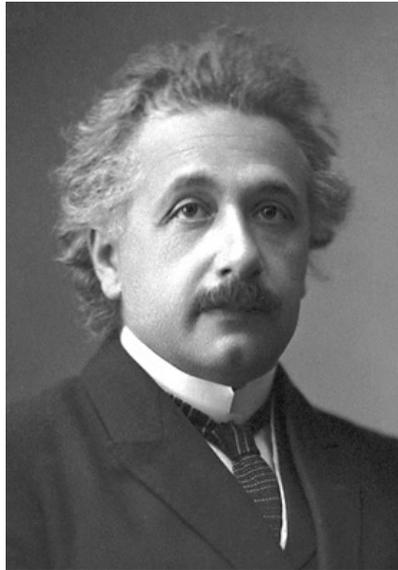
D. Hume, Trattato sulla natura umana



Al partito *relazionale* va certamente associato anche il nome di Albert Einstein che, per sottrarsi alle imbarazzanti domande su cosa fosse il tempo, si rifugiava sul concetto di misura (di intervalli) di tempo, realizzata mediante sistemi fisici che cambiano in modo periodico e regolare: gli **orologi**.



La teoria relazionale al lavoro: spazio e tempo sono connessi



Il tempo e lo spazio sono correlati, il nostro stato di moto ne determina le misure relative.

Relatività Speciale, 1905

Il tempo e lo spazio sono correlati, la distribuzione di massa ne determina le misure relative.

Relatività Generale, 1916

La contrapposizione tra teoria Relazionale e Sostanziale



La MECCANICA QUANTISTICA

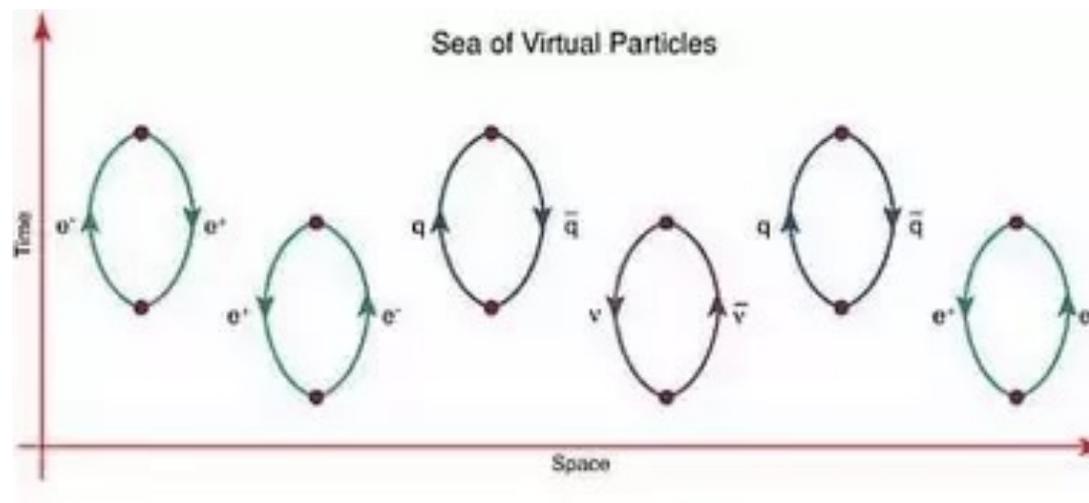
Non può esistere il vuoto

Non può esistere l'immobilità.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

Il vuoto quantistico non è vuoto

Nello stato di minima energia dello spazio.... c'è tutto un ribollire di eventi



L'immobilità quantistica è probita

Nella meccanica classica (Galileo, Newton)



In assenza di forze, $x(t)$ cambia proporzionalmente al tempo:

$$x(t) = v(0) t \quad \Delta x(t) = \Delta x(0) + \Delta v t$$

Se $v(0) = 0$ allora $x(t) = x(0)$

L'incertezza sulla posizione si comporta allo stesso modo $\Delta x(t) = \Delta x(0)$

Quindi la pallina rimane al “suo posto”, ***immobile***

L'immobilità quantistica è proibita

Nella meccanica quantistica (Heisenberg, Bohr)



$$Dx(t) = \sqrt{Dx(0)^2 + Dv^2 t^2}$$

In questo caso l'incertezza nella posizione $Dx(t)$ **non rimane costante** ma cresce inevitabilmente nel tempo poichè, a causa del principio di indeterminazione, $Dx(0)$ e $Dv(0)$ non possono essere prese entrambe arbitrariamente piccolo ma risultano legate da $Dx(0)Dv(0) > h/4\pi m$

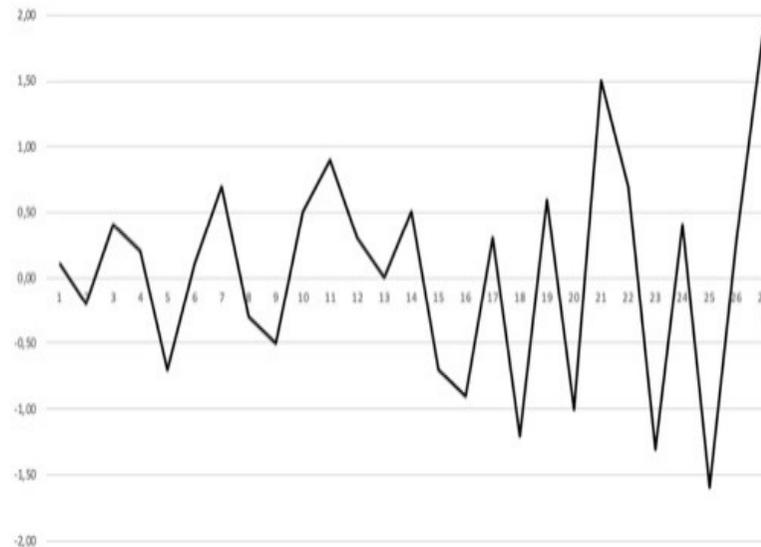
$$Dx(t) = \sqrt{Dx(0)^2 + \left(\frac{h}{4\pi m Dx(0)}\right)^2 t^2}$$



L'immobilità quantistica è proibita

Il fatto che l'incertezza cresce con il tempo porta con sé l'idea che l'immobilità è proibita e quindi **il TEMPO è inevitabile..**

Ma c'è di più. Come si muoverà la pallina se non può rimanere immobile?



Da dove vengono queste fluttuazioni casuali?

La casualità si insinua nel tempo

L'analogia tra le fluttuazioni termiche del moto browniano e le fluttuazioni quantistiche nella posizione della particella ha attirato l'attenzione della comunità fisica

Imre Fényes (1946) Equazione di Schrodinger come forma speciale di equazione di diffusione, molto simile all'equazione di Fokker-Plank comunemente usata per le fluttuazioni termiche

Luis De Broglie (1960-1980) Interpretazione probabilistica delle «matter waves»

Edward Nelson (1985) Stochastic quantum dynamics

Teorie più recenti: lo spazio ed il tempo come «realità emergenti»...

Casualità e tempo



conclusione

Take home message:

- ! Casualità, rumore, fluttuazioni, sono ingredienti essenziali in questi modelli, perché, lungi dall'essere meri disturbi e approssimazioni, per quello che attualmente sappiamo appartengono al tessuto stesso dello spazio-tempo.

