

Buongiorno! Eccoci al terzo numero della Newsletter ISC! Questa Newsletter ha l'intento di offrire uno spazio ai ricercatori e al personale amministrativo per comunicare le proprie idee e progetti, allo scopo di dare massima diffusione a tutte le opportunità che il mondo della ricerca ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche, in particolare, offrono. Un saluto dal gruppo comunicazione dell'Istituto dei Sistemi Complessi e dal Direttore. Buona Ricerca!

Tempo, Entanglement e Buchi neri: la natura quantistica dello scorrere del tempo

Un recente approfondimento della rivista *New Scientist* [1] ha riportato l'attenzione su uno dei dilemmi più profondi della fisica: la natura del tempo. In questo dibattito, il lavoro di **Alessandro Coppo** e **Paola Verrucchi** dell'Istituto per i Sistemi Complessi del CNR offre un contributo significativo, recentemente segnalato anche dalla rivista *Internazionale* [2].

Il meccanismo di Page & Wootters

Al centro della ricerca si trova il meccanismo di Page & Wootters (PaW), un'ipotesi formulata negli anni Ottanta che mette in discussione il concetto stesso di tempo come grandezza fondamentale [3]. Lo scorrere del tempo sarebbe infatti un fenomeno emergente dalle correlazioni quantistiche, l'entanglement, tra due sistemi: uno che svolge il ruolo di orologio e l'altro che rappresenta l'oggetto in evoluzione. Questo effetto dovrebbe essere limitato al mondo microscopico, regolato dalle leggi di evoluzione quantistiche, come l'equazione di Schrödinger.

L'illusione del tempo nel mondo classico

In uno studio recente, A. Coppo e P. Verrucchi, in collaborazione con A. Cuccoli dell'Università di Firenze, hanno sviluppato un modello matematico composto da un oscillatore armonico in uno stato entangled con un orologio, identificato da un insieme di piccoli magneti [4]. Dal punto di vista di un osservatore esterno, il sistema complessivo appare statico ed immutabile; rispetto all'orologio, invece, l'oscillatore mostra una sequenza di cambiamenti, come se il tempo scorresse seguendo l'equazione di Schrödinger. Ma la vera svolta risiede nella dimostrazione di come questo effetto persista anche nel caso i due sistemi siano macroscopici e descrivibili da leggi di moto classiche, le note equazioni di Hamilton. Questo modello ha colto l'interesse della rivista

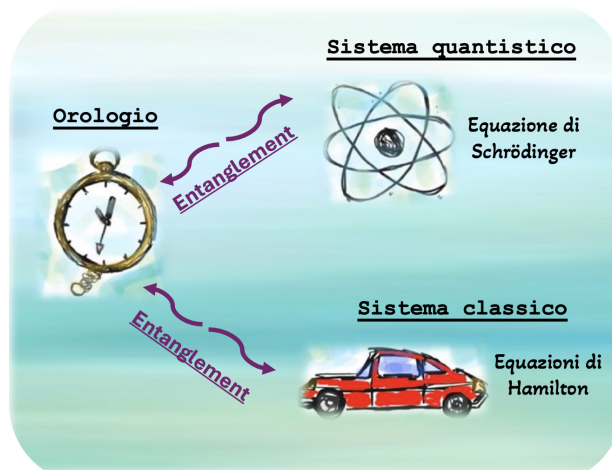


Figura 1: L'emergere dello scorrere del tempo dall'entanglement con un orologio (Figura adattata da Ref. [6]).

New Scientist, che nel 2024 gli ha dedicato un primo *approfondimento* [5]. Si tratta di un caso concreto di una più ampia estensione del meccanismo PaW a generici sistemi macroscopici, un risultato che i due ricercatori avevano già anticipato alcuni anni prima sulle pagine di *Nature Communications* [6]. Secondo questa visione, le equazioni di moto non sarebbero altro che l'effetto di una genuina proprietà quantistica della realtà, l'entanglement, che sopravvive anche in un contesto completamente classico, determinando l'emergere dello scorrere del tempo così come la conosciamo (Figura 1). Il caso dell'oscillatore armonico rappresenta uno degli esempi più semplici in cui emerge una dinamica di tipo oscillatorio (Figura 2).

I buchi neri come orologi ideali

Ma potrebbero esistere nell'Universo orologi ideali? Quali sarebbero le loro caratteristiche? I recenti approfondimenti di *New Scientist* ed *Internazionale* pongono l'attenzione sull'ultimo lavoro [7] di A. Coppo e P. Verrucchi nel quale, in collaborazione con N. Pranzini dell'Università di Helsinki, vengono proposti i buchi neri come possibili candidati. I ricercatori evidenziano come,

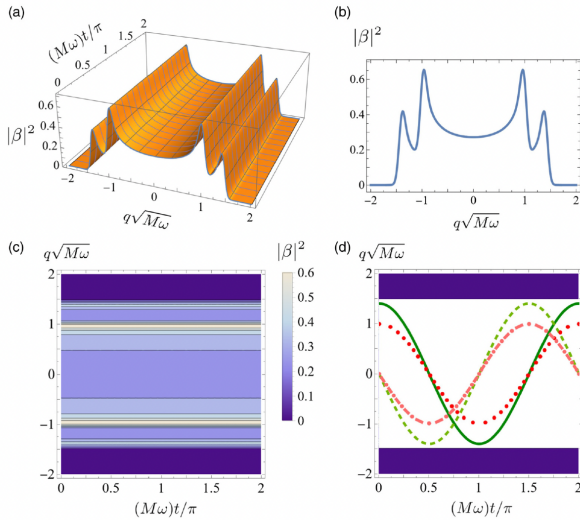


Figura 2: (a) Distribuzione di probabilità che un oscillatore classico di massa M e frequenza ω si trovi nella posizione q se il rispettivo orologio è in uno stato identificato da un parametro temporale t . (b)-(c) La sezione della distribuzione ad un istante fissato ed il contour plot. (d) Emergere della dinamica classica dell'oscillatore. (Figura importata da Ref. [4])

seguendo il meccanismo PaW, un sistema debba soddisfare tre requisiti per operare efficacemente come un orologio: avere un'adeguata riserva energetica da poter seguire l'evoluzione di un qualsivoglia oggetto, essere in grado di mantenere un adeguato isolamento per proteggersi da perdite di rumore; e, infine, avere un'elevata capacità di generare entanglement. I buchi neri sono tra i sistemi più energetici dell'Universo: generano campi gravitazionali così intensi da creare un orizzonte degli eventi oltre il quale nulla, nemmeno la luce, può sfuggire. Tuttavia, gli effetti quantistici attribuiscono a questi sistemi una proprietà sorprendente: la possibilità di essere entangled con l'esterno attraverso la creazione di coppie di particelle vicino all'orizzonte e la conseguente emissione di radiazione termica. In questo contesto, A. Coppo, N. Pranzini e P. Verrucchi mostrano come la dinamica di un oggetto in prossimità dell'orizzonte degli eventi possa essere derivata attraverso il meccanismo PaW (Figura 3) e come questa descrizione risulti in accordo con gli aspetti termodinamici del buco nero, a partire dal valore previsto per la sua temperatura. L'obiettivo è di comprendere se e come le tracce lasciate dall'entanglement e dall'emissione di radiazione possano fornire indica-

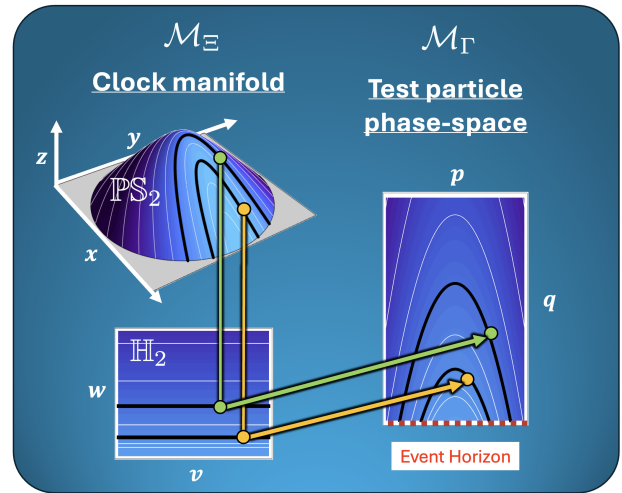


Figura 3: Come il meccanismo PaW dà forma alla dinamica di una particella test vicino all'orizzonte degli eventi di un buco nero (Figura importata da Ref. [7]).

zioni sulla natura emergente del tempo. Si tratta di un esempio di come attività teoriche sviluppate all'interno del CNR si collochino nel dibattito internazionale alle basi della fisica fondamentale. Per ogni approfondimento è possibile contattare i due ricercatori ISC agli indirizzi alessandro.coppo@cnr.it e paola.verrucchi@cnr.it.

Segnaliamo anche una lezione sulla meccanica quantistica di Paola Verrucchi nell'ambito della conferenza *EDxMilano* disponibile su [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...).

Riferimenti bibliografici

- [1] Z. Savitsky. The daring idea that time is an illusion and how we could prove it. *New Scientist*, page 28, Jan 2026.
- [2] Traduzione da *New Scientist*. Se il tempo fosse un'illusione. *Internazionale*, page 62, Feb 2026.
- [3] D. N. Page and W. K. Wootters. Evolution without evolution: dynamics described by stationary observables. *Phys. Rev. D*, 27:2885, 1983.
- [4] A. Coppo, A. Cuccoli, and P. Verrucchi. Magnetic clock for a harmonic oscillator. *Phys. Rev. A*, 109:052212, 2024.
- [5] K. Padavic-Callaghan. Time may be an illusion created by quantum entanglement. *New Scientist*, May 2024.

- [6] C. Foti, A. Coppo, G. Barni, A. Cuccoli, and P. Verrucchi. Time and classical equations of motion from quantum entanglement via the Page and Wootters mechanism with generalized coherent states. *Nat. Commun.*, 12:1787, 2021.
- [7] A. Coppo, N. Pranzini, and P. Verrucchi. Quantum model for black holes and clocks. *arXiv*, 2601.07437, 2026.

Correnti stellari per archeologia galattica

Marco Montuori, marco.montuori@cnr.it

L'astronomia galattica si occupa dello studio della Via Lattea, indagandone l'origine, l'evoluzione e la struttura; proprio per questa sua natura retrospettiva, viene spesso definita "archeologia galattica". In questo ambito, una classe di oggetti di fondamentale importanza è rappresentata dagli ammassi globulari (GC): sistemi stellari autogravitanti composti, in prima approssimazione, da una singola popolazione di stelle nate simultaneamente da una medesima nube molecolare. L'osservazione di questi oggetti (ovvero l'analisi della luce e dei moti stellari) combinata con la teoria astrofisica e le simulazioni numeriche, permette di ricostruirne l'età, le caratteristiche primordiali e l'evoluzione nel tempo. Essendo tra gli oggetti più antichi dell'Universo, i GC costituiscono un reperto fossile cruciale per comprendere le fasi iniziali di formazione della nostra Galassia e, più in generale, l'evoluzione chimica del cosmo [1], [2]. L'attuale teoria della formazione galattica (il cosiddetto modello di fusione gerarchica [3]) prevede che la Via Lattea si sia formata attraverso la progressiva aggregazione di sistemi più piccoli. Gli ammassi globulari, nati all'interno di tali componenti minori, fungono da tracciatori che permettono di ricostruire la sequenza degli accrescimenti e le proprietà dei sistemi originari. Questo studio è possibile analizzando in particolare le "correnti stellari" che si dipartono dagli ammassi. Durante le loro orbite galattiche, i GC sono infatti soggetti al campo mareale della Via Lattea, che tende a strappare le stelle alla gravità dell'ammasso. Queste stelle si distribuiscono lungo l'orbita, precedendo e seguendo l'ammasso stesso, formando così le cosiddette code mareali. Ad oggi ne sono state osservate circa 60: le loro caratteristiche sono profondamente influenzate dalla storia della Galassia, rendendo

uno strumento indispensabile per l'indagine archeologica del nostro passato cosmico[4]. Nello studio [5] qui presentato, Salvatore Ferrone e Marco Montuori, in collaborazione con ricercatori dell'Osservatorio di Parigi e l'istituto Leibniz per l'astrofisica di Pozdam, hanno simulato l'evoluzione dell'intero sistema di ammassi globulari della Via Lattea (circa 170 identificazioni attualmente note) e la formazione delle relative code mareali a partire da 5 miliardi di anni fa. Questa simulazione, la prima nel suo genere per portata e dettaglio, offre una visione d'insieme senza precedenti. Grazie ai dati ottenuti, siamo ora in grado di: prevedere l'esistenza di code mareali non ancora osservate, guidandone l'identificazione futura; ricostruire il campo gravitazionale della Via Lattea attraverso le proprietà morfologiche e dinamiche dell'intero sistema di code; indagare la struttura interna della nostra Galassia, superando i limiti intrinseci dovuti alla nostra posizione di osservatori situati proprio al suo interno.

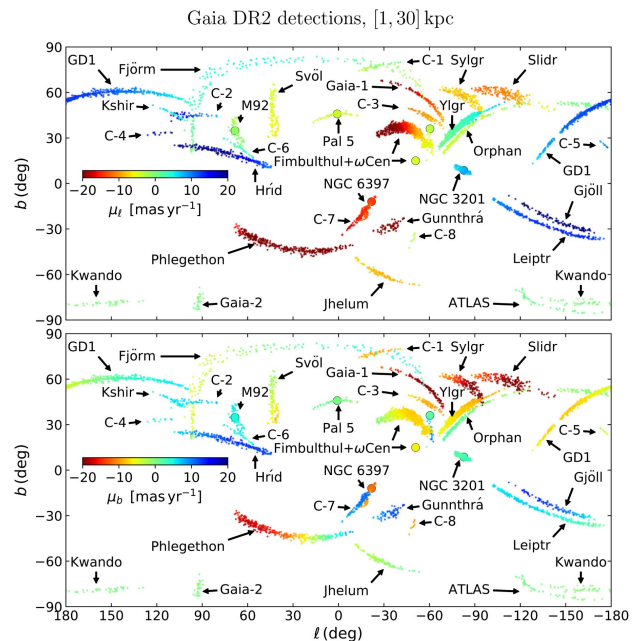


Figura 4: code mareali osservate nella Via Lattea [6]

Riferimenti bibliografici

- [1] Eugene Vasiliev and Holger Baumgardt. Gaia EDR3 view on galactic globular clusters. , 505(4):5978–6002, August 2021.
- [2] J. M. Diederik Kruijssen. The formation of globular clusters, 2025.

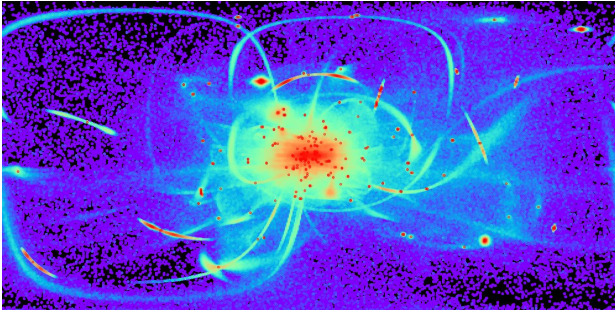


Figura 5: questo studio: simulazione del sistema di ammassi e code[7]

- [3] S. D. M. White and M. J. Rees. Core condensation in heavy halos: a two-stage theory for galaxy formation and clustering. , 183:341–358, May 1978.
- [4] Ana Bonaca and Adrian M. Price-Whelan. Stellar streams in the Gaia era. , 100:101713, June 2025.
- [5] Ferrone, Salvatore, Di Matteo, Paola, Mastrobuono-Battisti, Alessandra, Haywood, Misha, Snaith, Owain N., Montuori, Marco, Khoperskov, Sergey, and Valls-Gabaud, David. The e-tidalgcs project - modeling the extra-tidal features generated by galactic globular clusters. *A&A*, 673:A44, 2023.
- [6] Rodrigo Ibata et al. Charting the Galactic Acceleration Field. I. A Search for Stellar Streams with Gaia DR2 and EDR3 with Follow-up from ESPaDOnS and UVES. , 914(2):123, June 2021.
- [7] Salvatore Ferrone et al. The e-TidalGCs project. Modeling the extra-tidal features generated by Galactic globular clusters. , 673:A44, May 2023.

Le macchine linguistiche e l'erosione del pensiero critico

Antonio Scala, antonio.scala@cnr.it

Nel giro di pochi anni, i sistemi linguistici di Intelligenza Artificiale sono passati da curiosità tecnologica a componente ordinaria delle pratiche cognitive quotidiane. Milioni di persone li utilizzano per scrivere, riassumere, argomentare, prendere decisioni. Il dibattito pubblico si concentra sui rischi più immediati: disinformazione, bias, allucinazioni. Ma questa focalizzazione sui difetti visibili rischia di oscurare una trasformazione più profonda, che non riguarda ciò

che questi sistemi dicono, ma il ruolo che stanno assumendo nel modo in cui il pensiero viene esercitato. I Large Language Models (LLM) producono discorsi linguisticamente competenti che simulano spiegazione e argomentazione. Quando vengono integrati sistematicamente nelle pratiche cognitive, il confine tra supporto e sostituzione diventa indistinguibile. A differenza di altre tecnologie cognitive, gli LLM non esternalizzano una singola funzione—memoria, calcolo, accesso all'informazione—ma intervengono sul processo stesso di formazione del giudizio. Producono testi che soddisfano criteri superficiali di qualità—coerenza, fluidità, adeguatezza al contesto—senza essere vincolati a un rapporto referenziale con il mondo. Il risultato è una forma di competenza apparente che riduce la necessità di esercitare competenza reale.

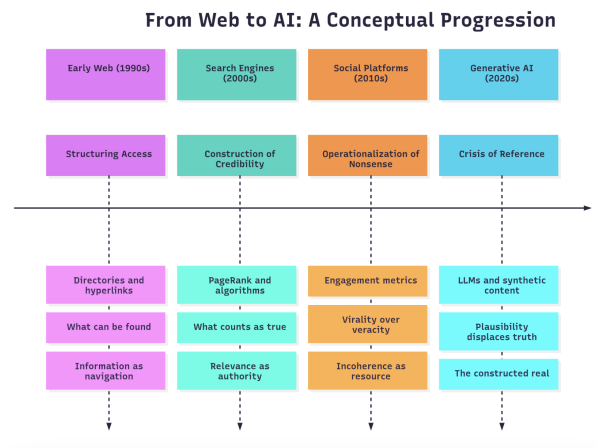


Figura 6: Progressione concettuale: dalla strutturazione dell'accesso alla crisi delle referenze.

Antonio Scala, ricercatore CNR-ISC, ha pubblicato su MicroMega un saggio che estende il framework costruttivista di Paul Watzlawick all'era dei Large Language Models (LLM).

Il pezzo affronta la cosiddetta *atrofia epistemica* come conseguenza strutturale della delega cognitiva ai sistemi linguistici: non un deficit individuale, ma un processo strutturale che emerge quando la produzione di senso viene delegata a sistemi che simulano competenza senza partecipare alle operazioni epistemiche che rendono possibile correzione e apprendimento. Quando la produzione di senso viene delegata a macchine che simulano competenza senza possederla, si innesca un processo che non è semplicemente un declino individuale, ma una trasformazione delle condi-

zioni stesse che rendono possibile la trasmissione della competenza.

Il lavoro si collega al working paper “Watzlawick in the Infosphere: Meaning, Paradox, and the Algorithmic Construction of Reality“, disponibile su SSRN e PhilPapers [1], e converge con recenti risultati empirici [2] che hanno documentato come i LLM producano l’illusione di conoscenza sostituendo la verifica con la plausibilità superficiale — un fenomeno definito epistemia. L’analisi ne esplora le conseguenze a livello sistemico e generazionale.

Qui il link per l’articolo su [MicroMega](#) (registrazione necessaria), qui per il [working paper](#).



Figura 7: Le macchine linguistiche e l’erosione del pensiero *critico*: schema concettuale.

Riferimenti bibliografici

- [1] Antonio Scala. Watzlawick in the infosphere: Meaning, paradox, and the algorithmic construction of reality. <https://philpapers.org/rec/SCAWIT-2>, 2026. Accesso: 2/2/2026.
- [2] Edoardo Loru, Jacopo Nudo, Niccolò Di Marco, Alessandro Santirocchi, Roberto Atzeni, Matteo Cinelli, Vincenzo Cestari, Clelia Rossi-Arnaud, and Walter Quattrociochi. The simulation of judgment in llms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(42):e2518443122, 2025.

Miscellanea

- **Presentazione alla Camera dei deputati.** [Massimo Cencini](#), [Andrea Puglisi](#), [Angelo Vulpiani](#) e [Davide Vergni](#), autori del libro di recente pubblicazione [A spasso nella fisica moderna](#) sono stati invitati l’11 Febbraio alla Camera dei Deputati per una presentazione del volume e per un breve dibattito

in compagnia, tra gli altri, di Luca Peliti, Giovanni Bachelet e Adele La Rana. Una registrazione dell’incontro è disponibile su [YouTube](#).



Camera dei deputati
Sala Stampa

Mercoledì
11 febbraio 2026
Ore 16

Introduce
On. Marco Sarracino
Discutono con gli autori
Sen. Michele Fina, Adele La Rana, Luca Peliti e Gabriella Puppo

Figura 8: La locandina dell’incontro alla Camera dei Deputati.