



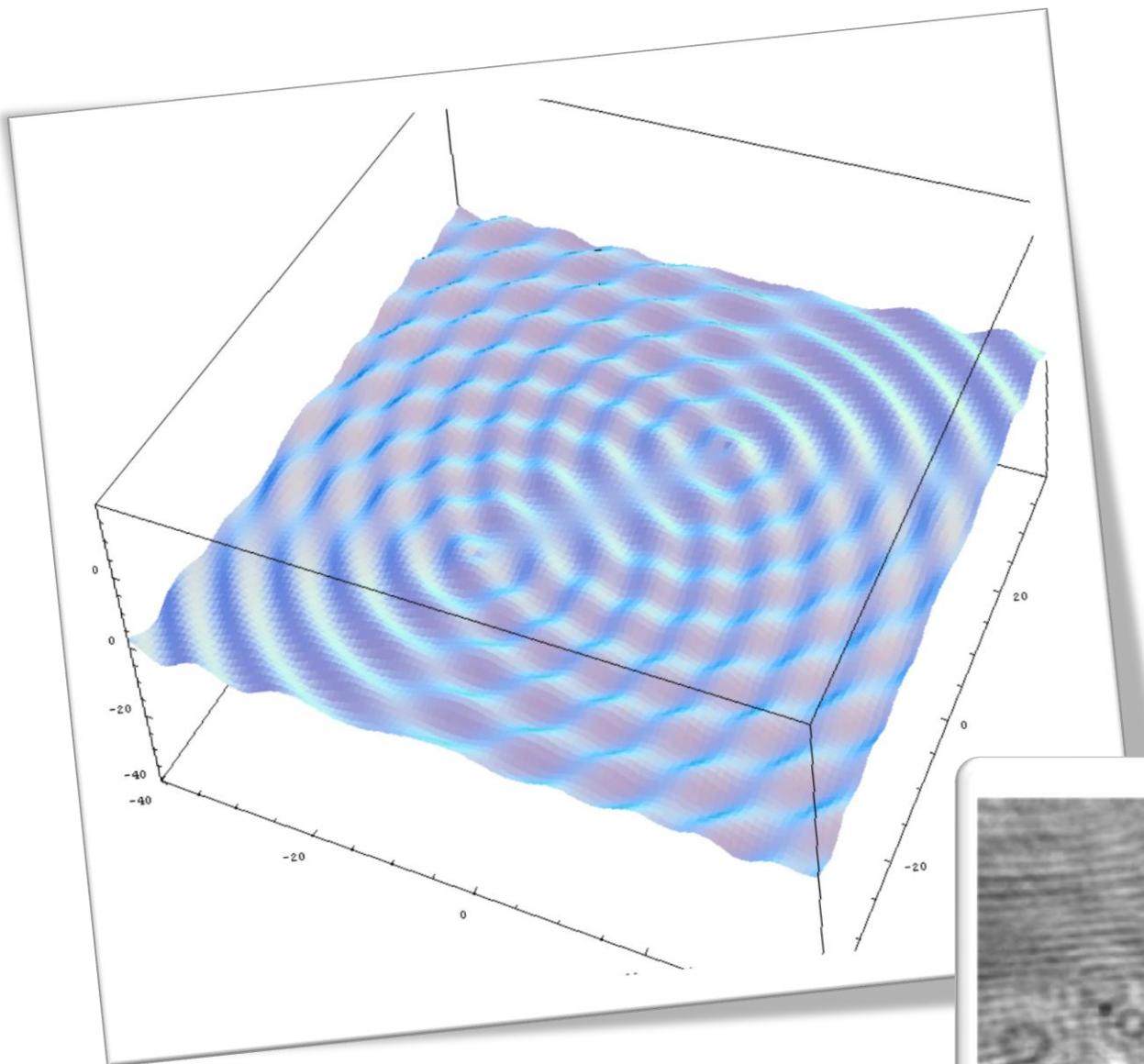
# Il Principio Olografico

Un Viaggio ai Confini del Pensiero Scientifico

Giovanni Della Lunga

A scene from Star Wars: Episode V - The Empire Strikes Back. On the left, Luke Skywalker in his white Jedi robes looks intensely at the viewer. In the center, a blue light emanates from a circular device, casting a glow on the surrounding environment. On the right, Obi-Wan Kenobi, also in white robes, looks towards the light. The background is dark and textured.

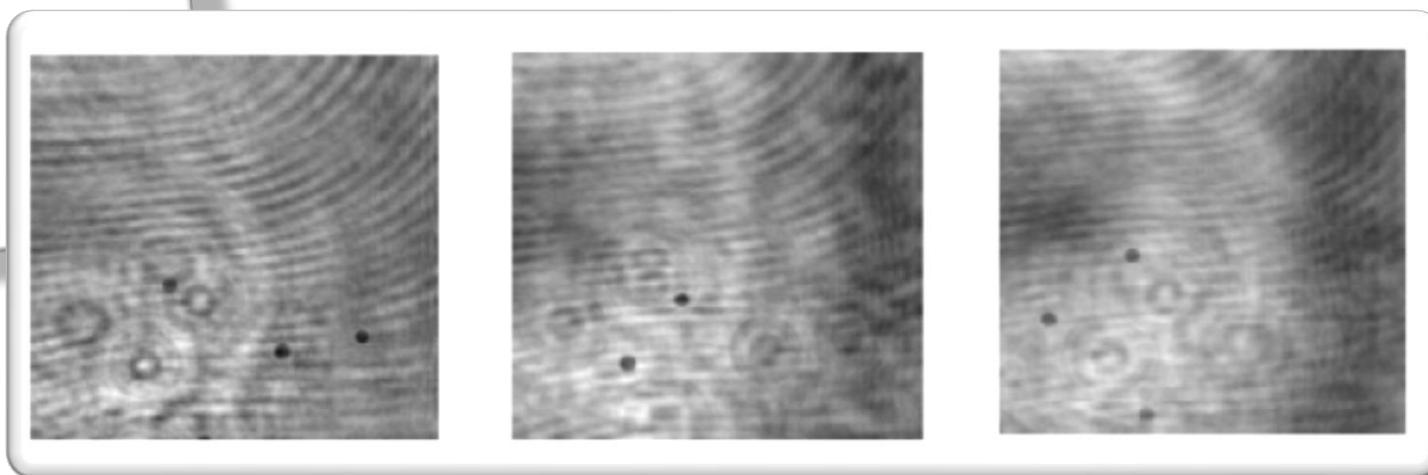
Ologrammi



## Dimensioni

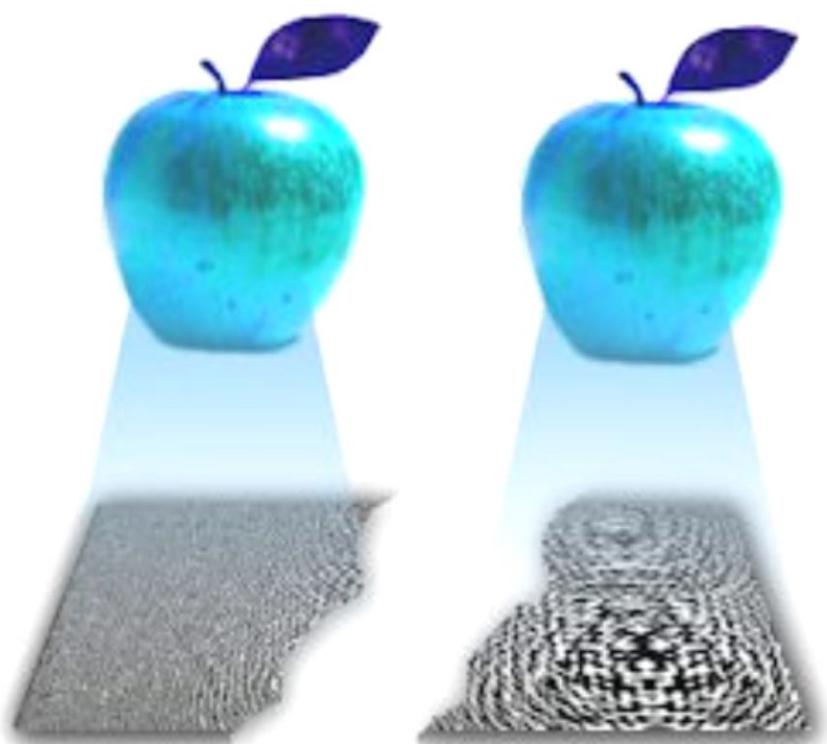
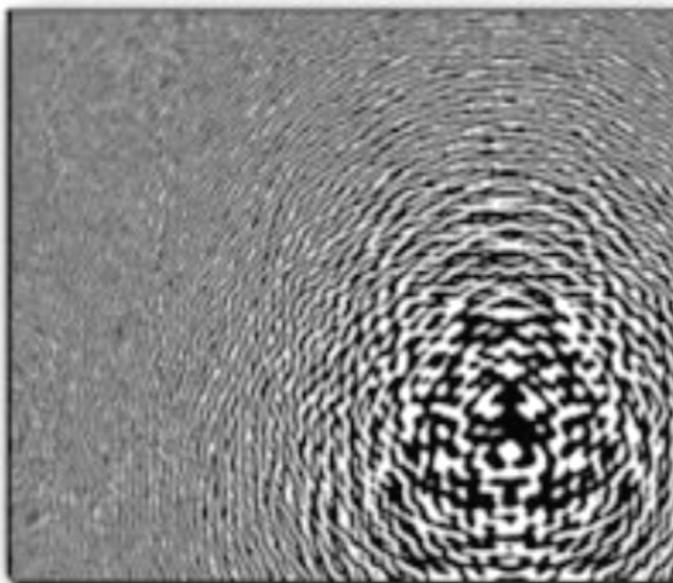
Gli ologrammi sono curiosi: sono superfici bidimensionali, ma quando li osserviamo vediamo l'immagine di un corpo tridimensionale.

L'aspetto più interessante è che se potessimo focalizzare la nostra attenzione solo sull'impressione fotografica che genera questo effetto non vedremmo affatto qualcosa di simile all'immagine prodotta: le informazioni necessarie per ricostruirla infatti si trovano distribuite su tutta la superficie. L'oggetto tridimensionale appare solamente se si proietta luce sull'ologramma.



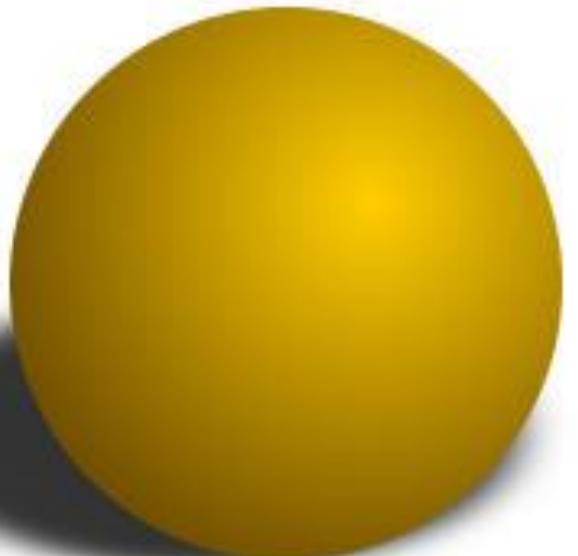
## Ogni parte contiene l'intero

Tagliando a metà o in piccole parti la lastra olografica e proiettando su ciascun frammento la luce laser vediamo che ogni parte, anche la più minuscola, ricrea l'immagine intera... più piccola e con una definizione minore, ma comunque intera.



## Informazioni

Se le informazioni necessarie per ricostruire un oggetto tridimensionale possono essere racchiuse in due sole dimensioni, forse ciò che conta non è l'aspetto dimensionale bensì le informazioni.



**E' possibile che il nostro universo si comporti in modo simile?  
E se la nostra realtà tridimensionale quotidiana non fosse altro che un ologramma?**

A large pile of colorful paperclips of various colors including purple, blue, green, yellow, and orange, scattered across a white surface.

Entropia



## L'Energia si conserva ma si disperde

Da forme più concentrate di energia si passa spontaneamente a forme più rarefatte, più disperse.

L'aumento costante dell'entropia ci dice che il nostro universo **diventa sempre più omogeneo**.

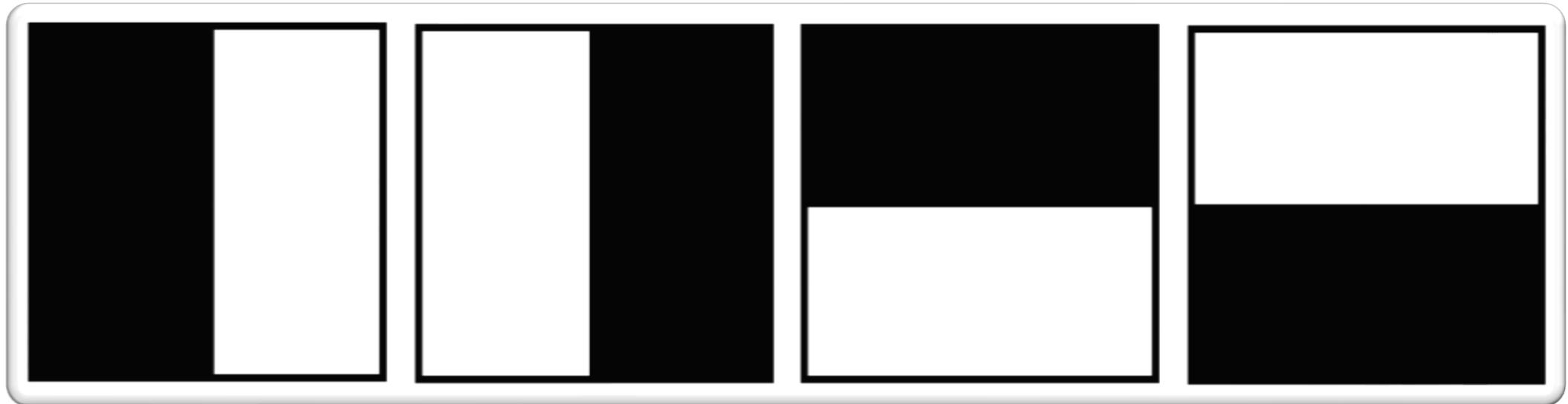
L'entropia è legata all'energia e alla temperatura di un corpo.

Qualunque corpo che ha una temperatura ha entropia e viceversa!



L'Entropia non è disordine ...  
lo sembra soltanto!

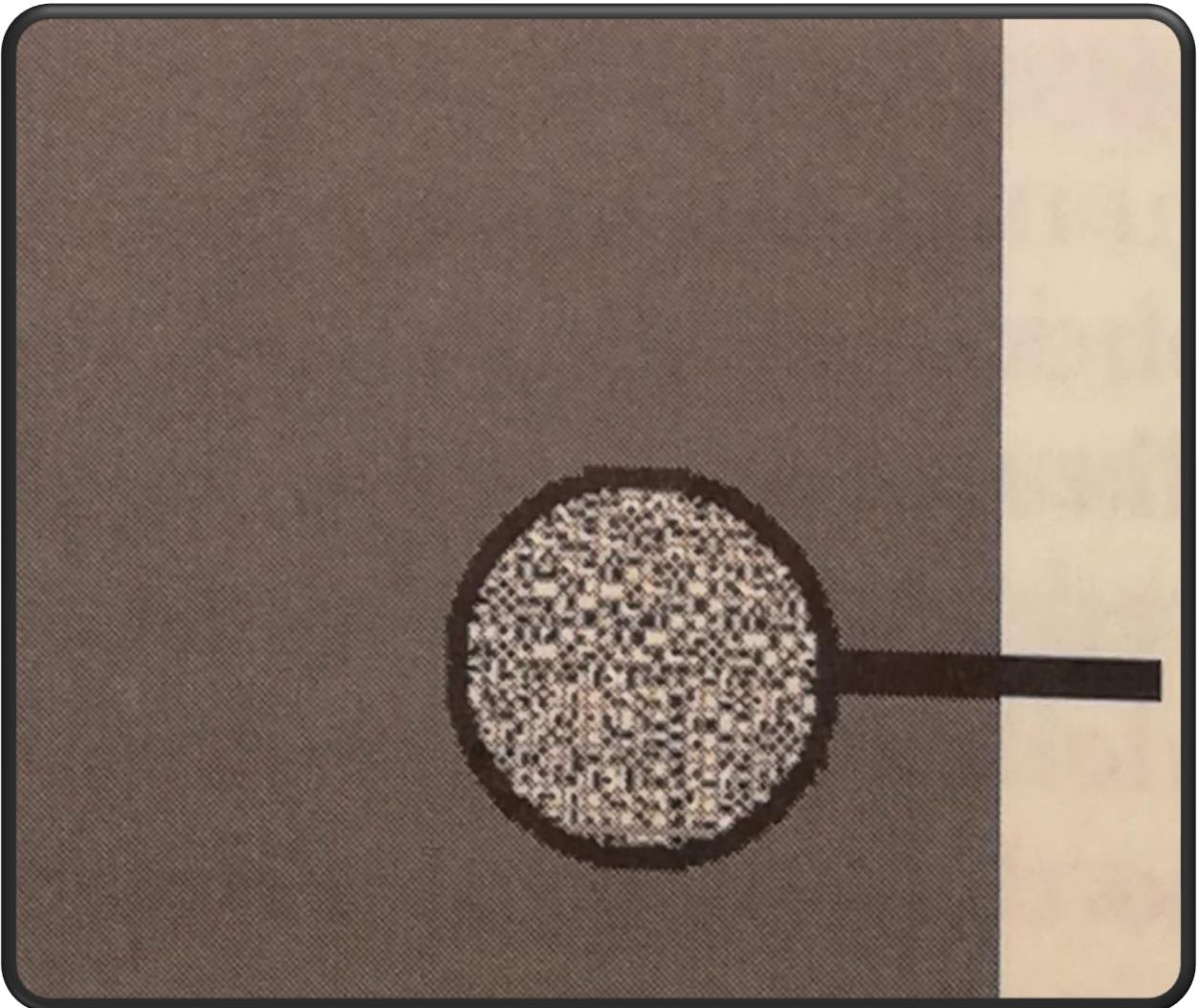




**Boltzmann: L'entropia ci dice  
quante configurazioni  
microscopiche danno origine  
alle quantità che stiamo  
osservando!**

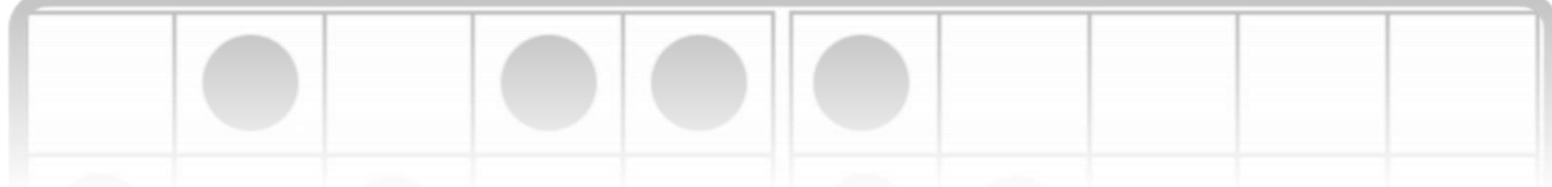
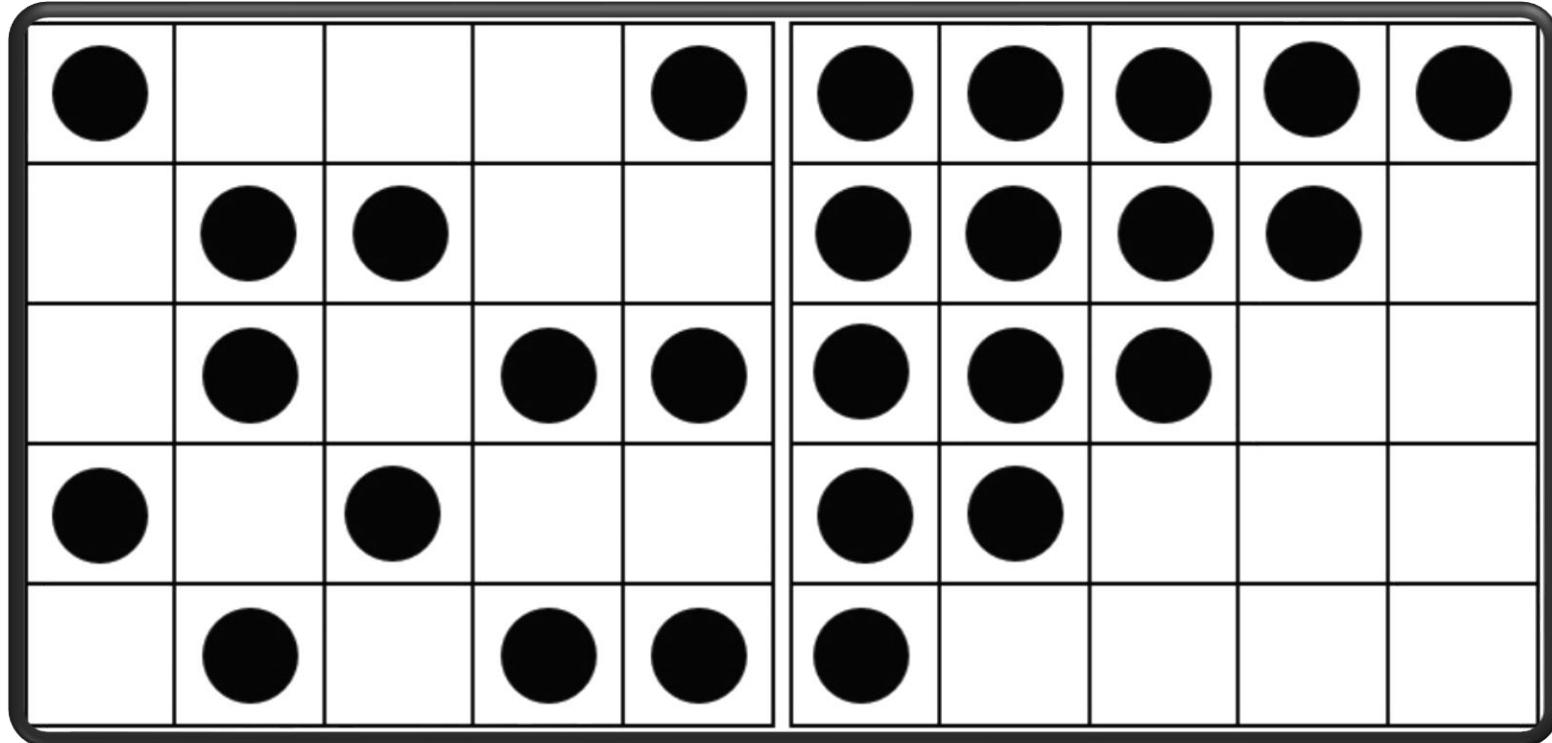
Il numero di modi in cui potremmo cambiare la disposizione dei puntini senza accorgercene è enorme. In questo caso vediamo che un'entropia elevata è spesso associata ad un aspetto uniforme, omogeneo.

La compresenza di apparente uniformità ed entropia elevata è quindi un'indicazione importante perché implica che il sistema (qualunque esso sia) deve essere costituito da un numero molto grande di oggetti microscopici che a) sono troppo piccoli per essere visti e b) possono essere ricombinati in molti modi senza cambiare l'aspetto del sistema.



The background of the image features a globe with a complex pattern of binary digits (0s and 1s) and a grid of blue and green lines representing a circuit board or network connections. The globe is centered in the frame, with the binary code appearing to wrap around it.

# Informazione



1

アーヴィングの「アーヴィング」、ジョンソンの「ジョンソン」、マクダーミットの「マクダーミット」などは、その名前からして、必ずしも本物のアーヴィング、ジョンソン、マクダーミットではないことを示す。

アーティストとしての才能を発揮するためには、常に新しい視点やアプローチを模索する姿勢が求められます。

アムスラーのスケールを用いて視野を測定する。アムスラーのスケールは、中心視野の範囲を示すための視標である。アムスラーのスケールは、中心視野の範囲を示すための視標である。

の「アーティスト」の「アーティスト」の「アーティスト」の「アーティスト」

五子書

卷之三

トコトコと、口を閉じて、口を開けて、口を閉じて、口を開けて、

卷之三

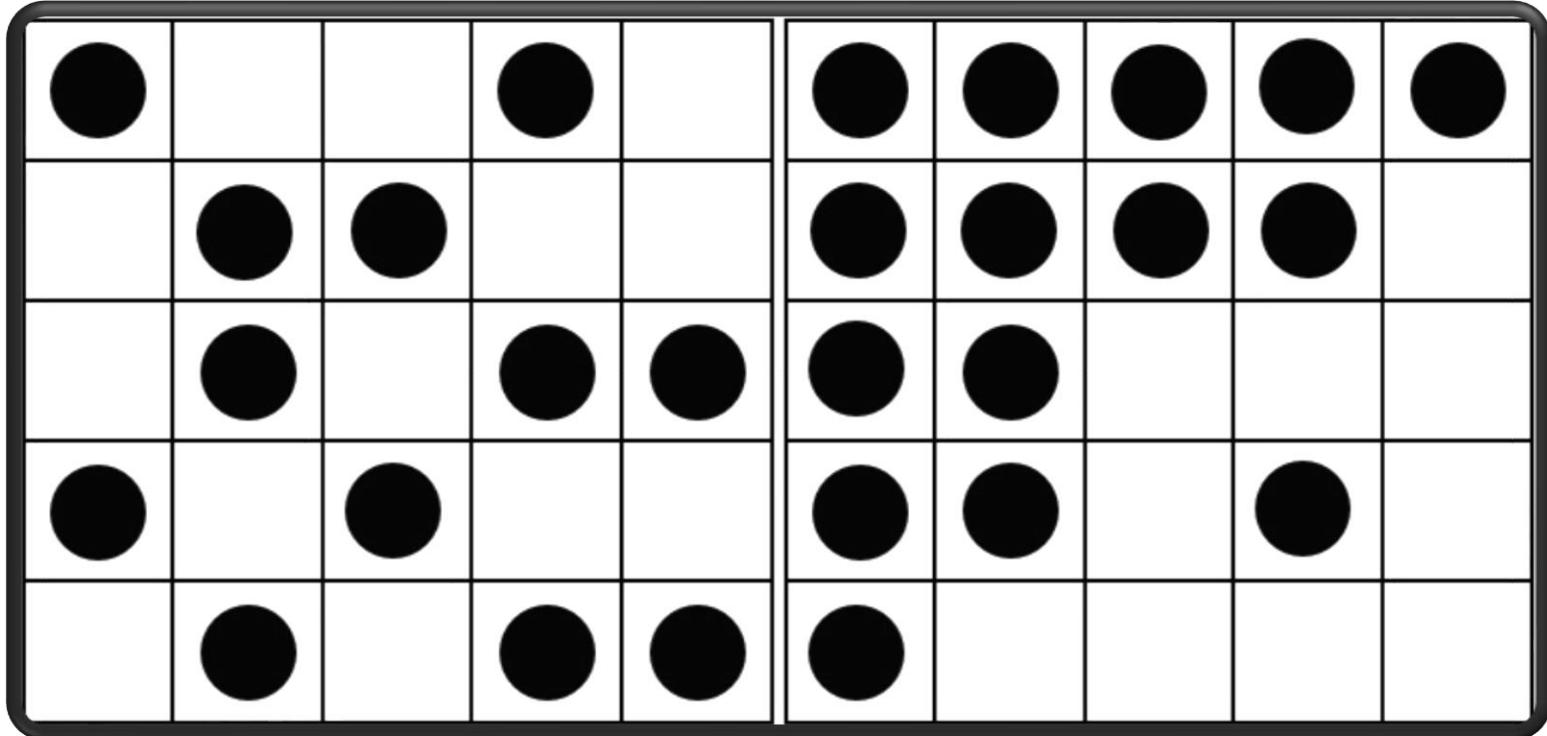
新編　萬葉集　卷之三

セイヒツセイテ

ヤマトの日本

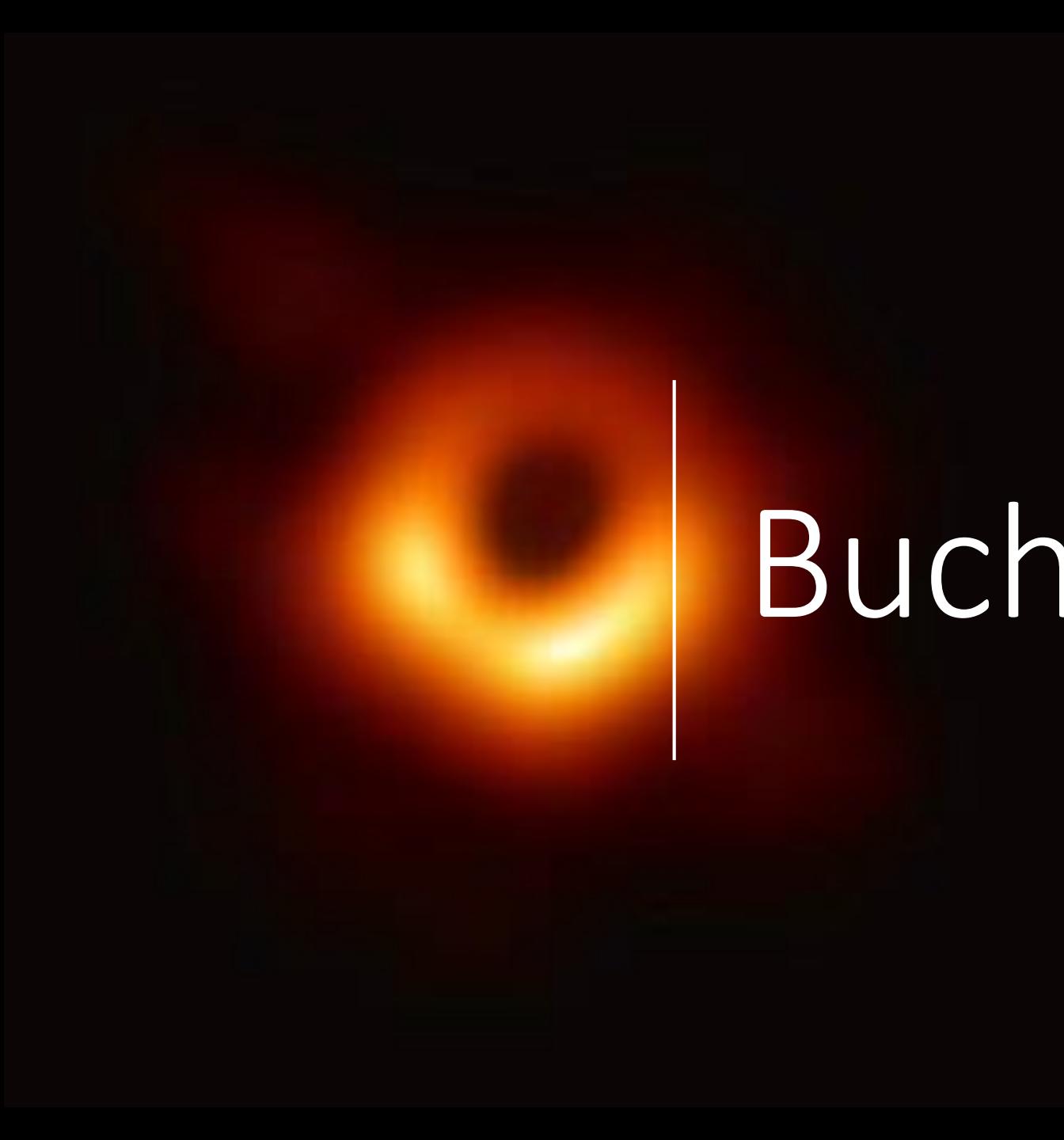
廿二史劄記

100



Quanti più stati sono possibili, maggiore sarà la quantità di informazioni necessaria per specificare la configurazione in cui si trova il nostro sistema.

Maggiore è l'entropia, più informazione è necessaria.



Buchi Neri

# Cos'è un buco nero?

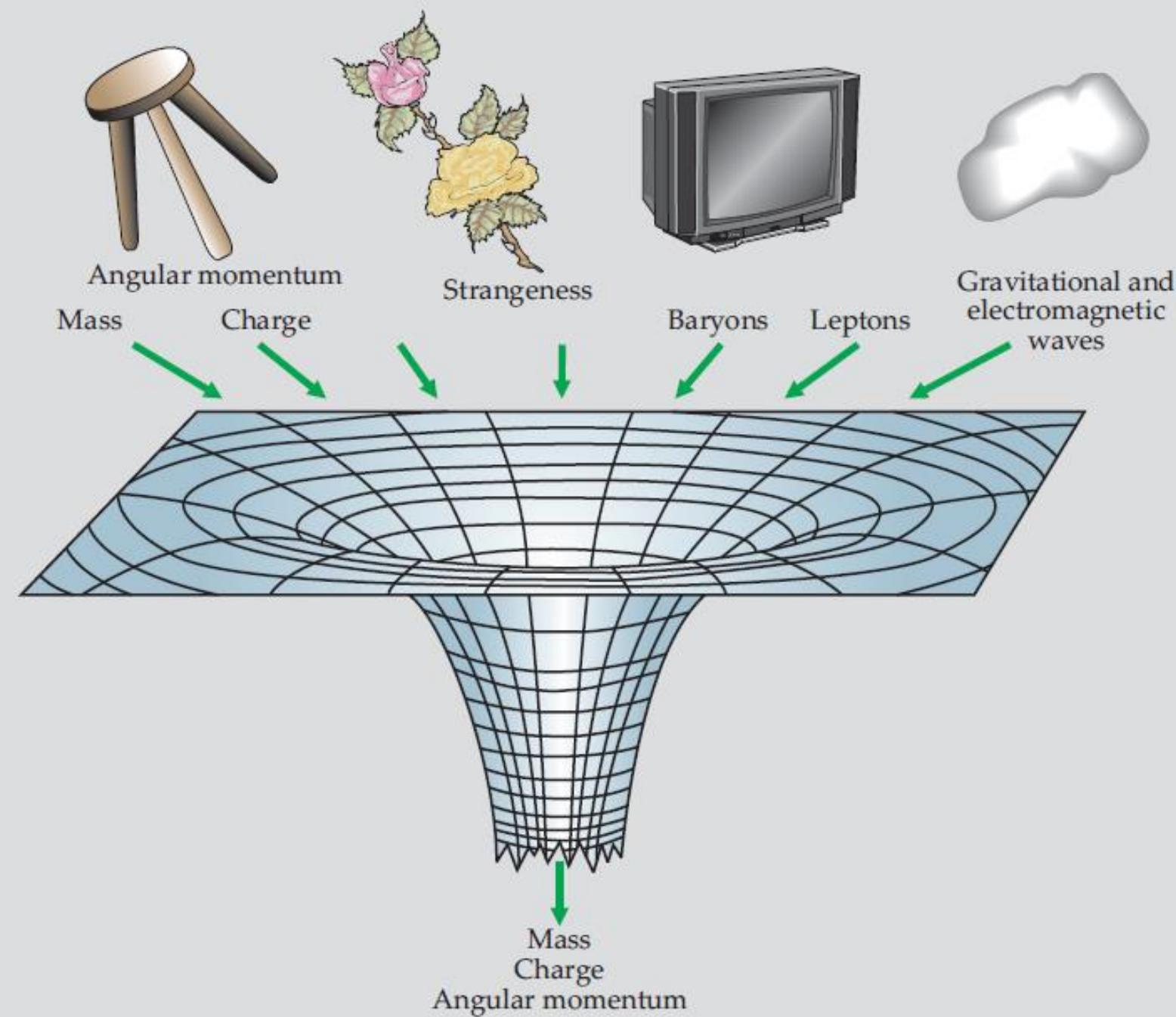
Un buco nero è una regione di tale immensa gravità che nulla - neppure la luce - è in grado di sfuggirvi.



La regione intorno a una singolarità da cui nulla - neppure la luce - può sfuggire si chiama orizzonte degli eventi. È a questo che pensate, probabilmente, quando pensate a un buco nero.



Cosa accadrebbe se un'astronave si avvicinasse all'orizzonte degli eventi di un buco nero? La parte più vicina al buco nero sperimenterebbe una gravità tanto più intensa rispetto all'estremità opposta, che finirebbe per essere allungata come uno spaghetti. Il termine scientifico di questo fenomeno è, per l'appunto, spaghettificazione!



## Tutto quello che avreste voluto sapere sui buchi neri ...

I buchi neri, per molti aspetti, assomigliano ad una particella elementare. Per descriverli è sufficiente la massa, la carica elettrica e il momento angolare.

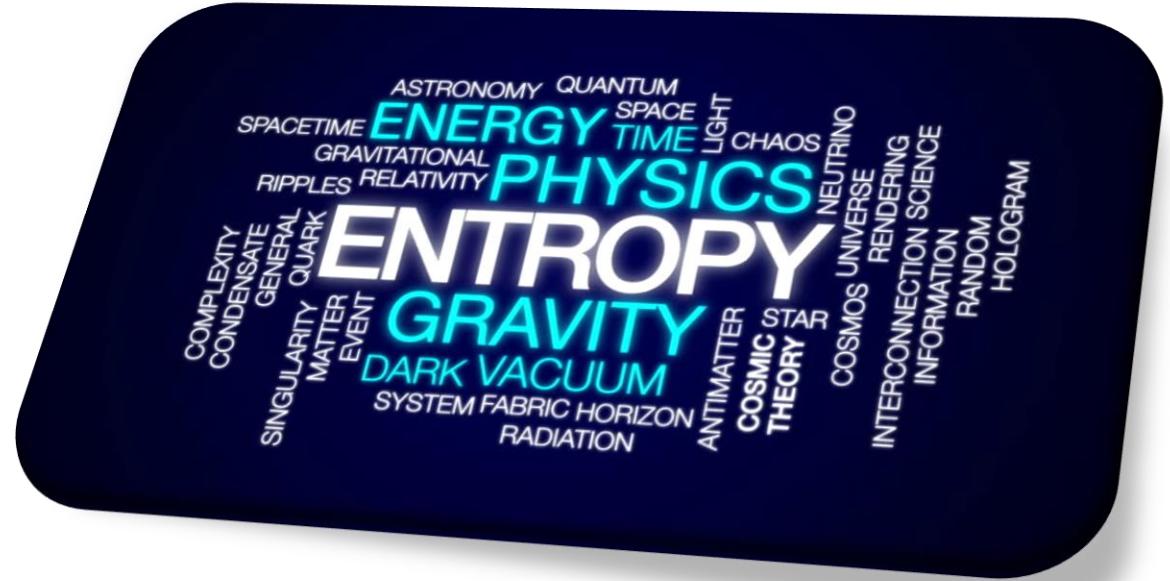
Questa estrema semplicità esterna potrebbe essere associata ad un'analogia semplicità al loro interno: forse la materia che dà origine ai buchi neri, una volta al loro interno, può trovarsi solamente in pochissimi stati microscopici. In questo caso l'entropia dei buchi neri, in base alla sua definizione nella fisica classica, sarebbe molto bassa, praticamente nulla.

Questa spiegazione metterebbe però in dubbio la **seconda legge della termodinamica** secondo la quale l'entropia deve sempre aumentare. Qualcosa sembra non tornare!

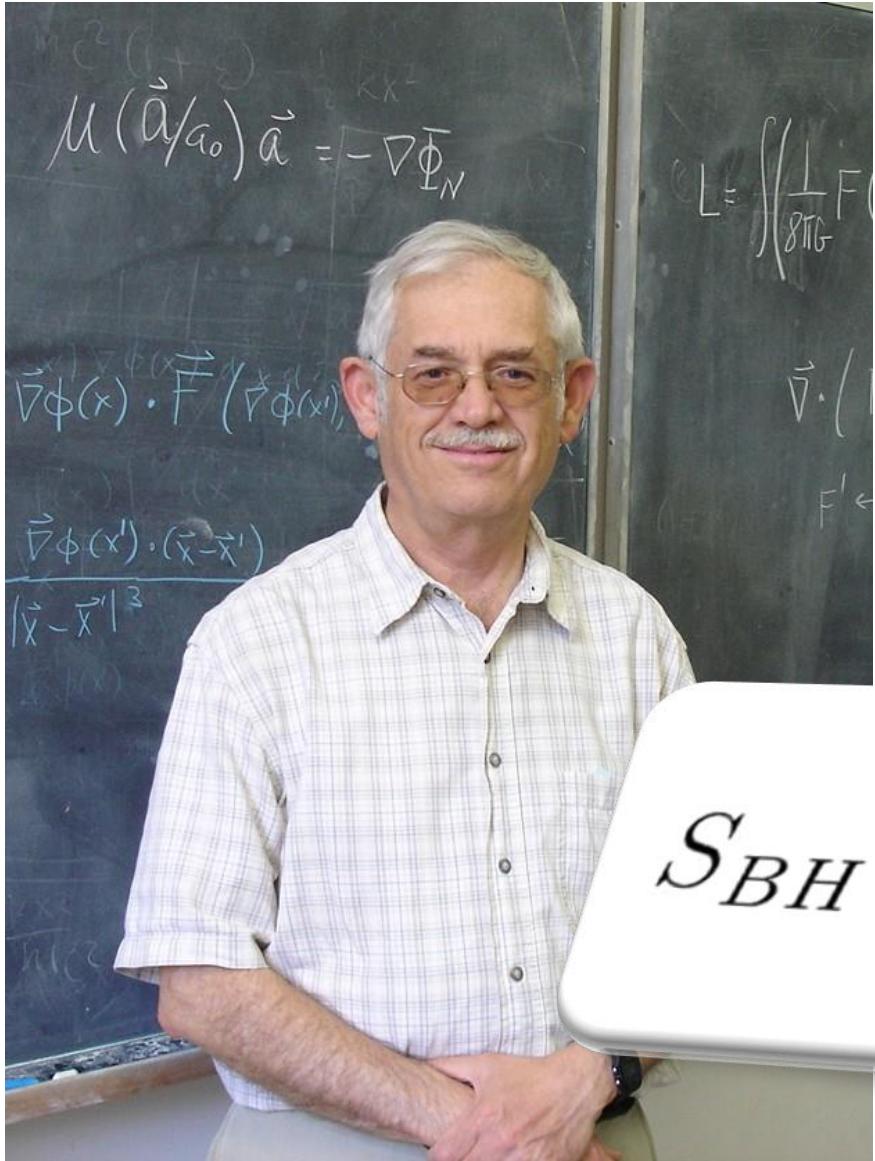
# Dove finisce l'Informazione?

Se i buchi neri sono privi di entropia, l'informazione caduta al loro interno è andata perduta. Se invece si dimostra che un buco nero ha una certa entropia questo significa che contiene altra informazione rispetto a massa carica e momento angolare. Dove si trova questa informazione?

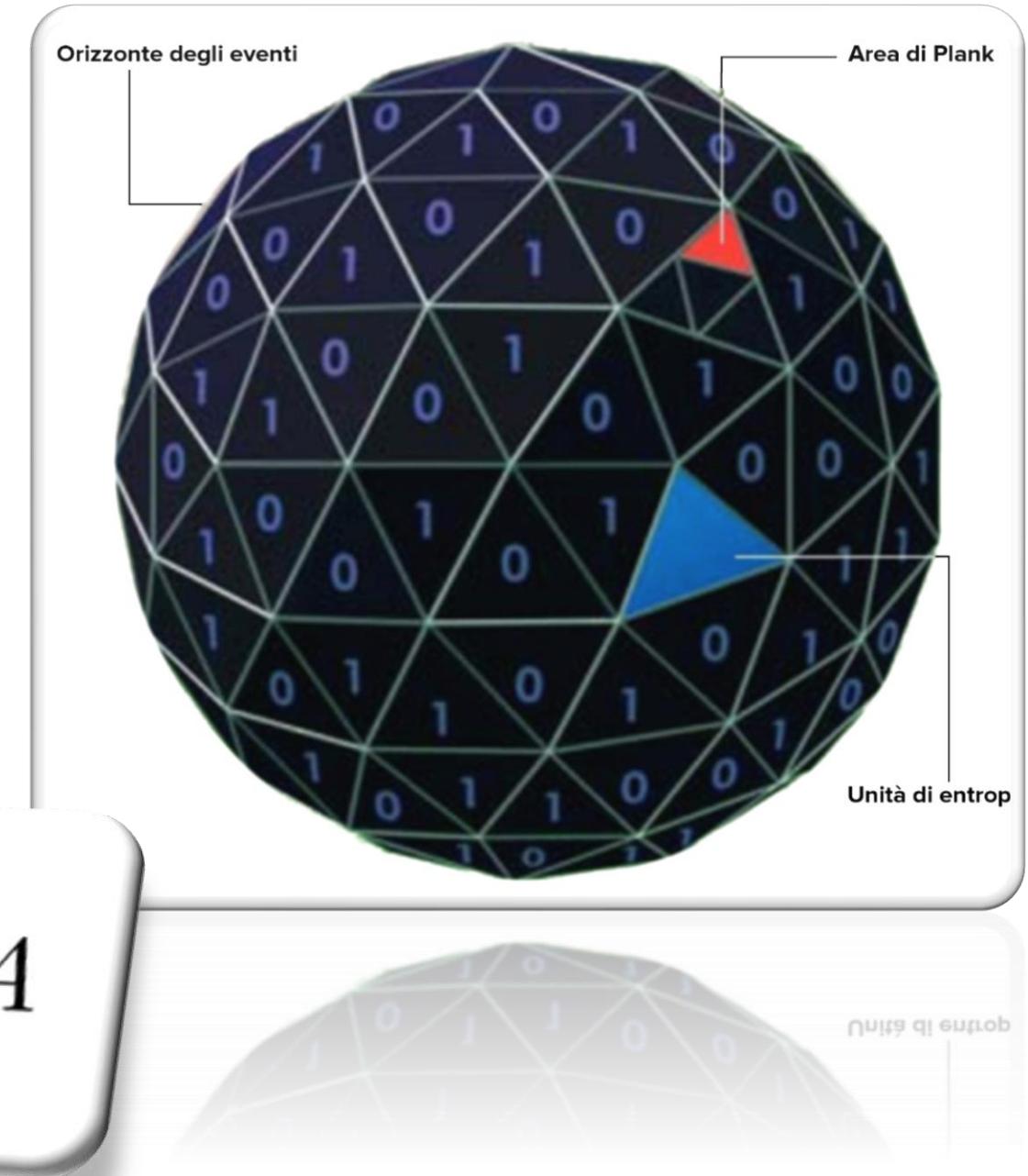
**Questa è una domanda da un milione di dollari.**



# Il Buco Nero di Bekenstein



$$S_{BH} = \frac{kc^3}{4\hbar G} A$$

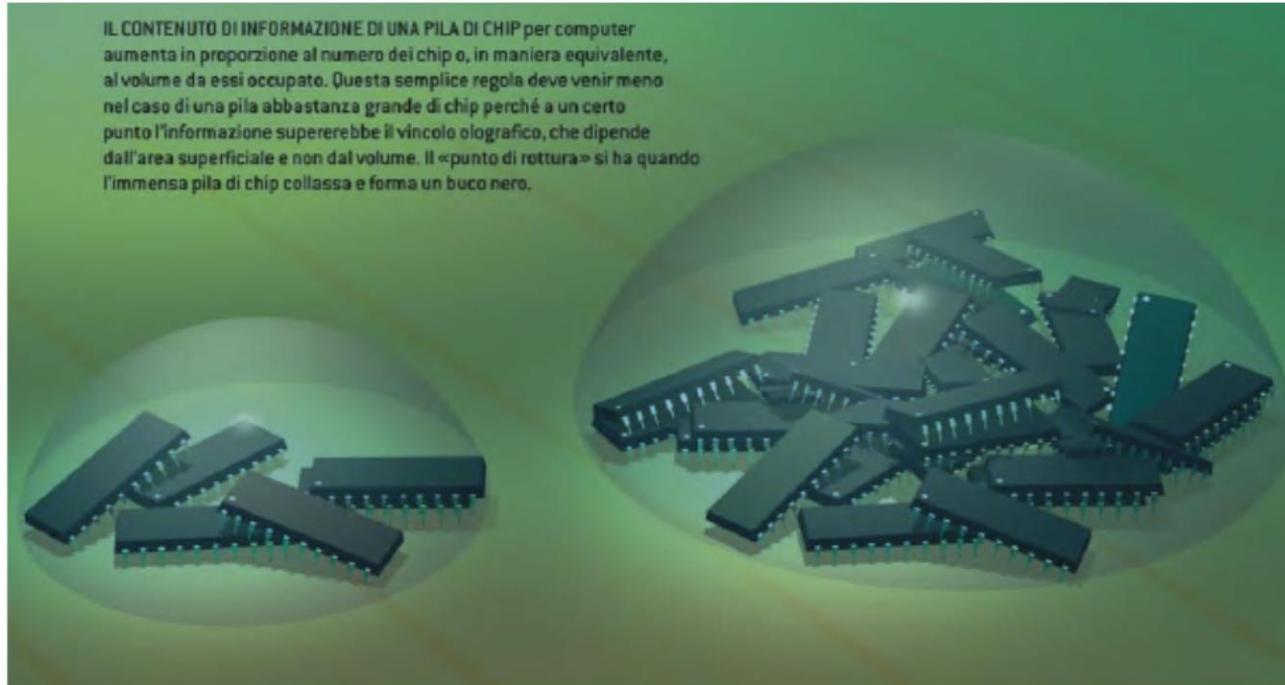


## Quanta informazione è necessaria per descrivere l'universo osservabile?

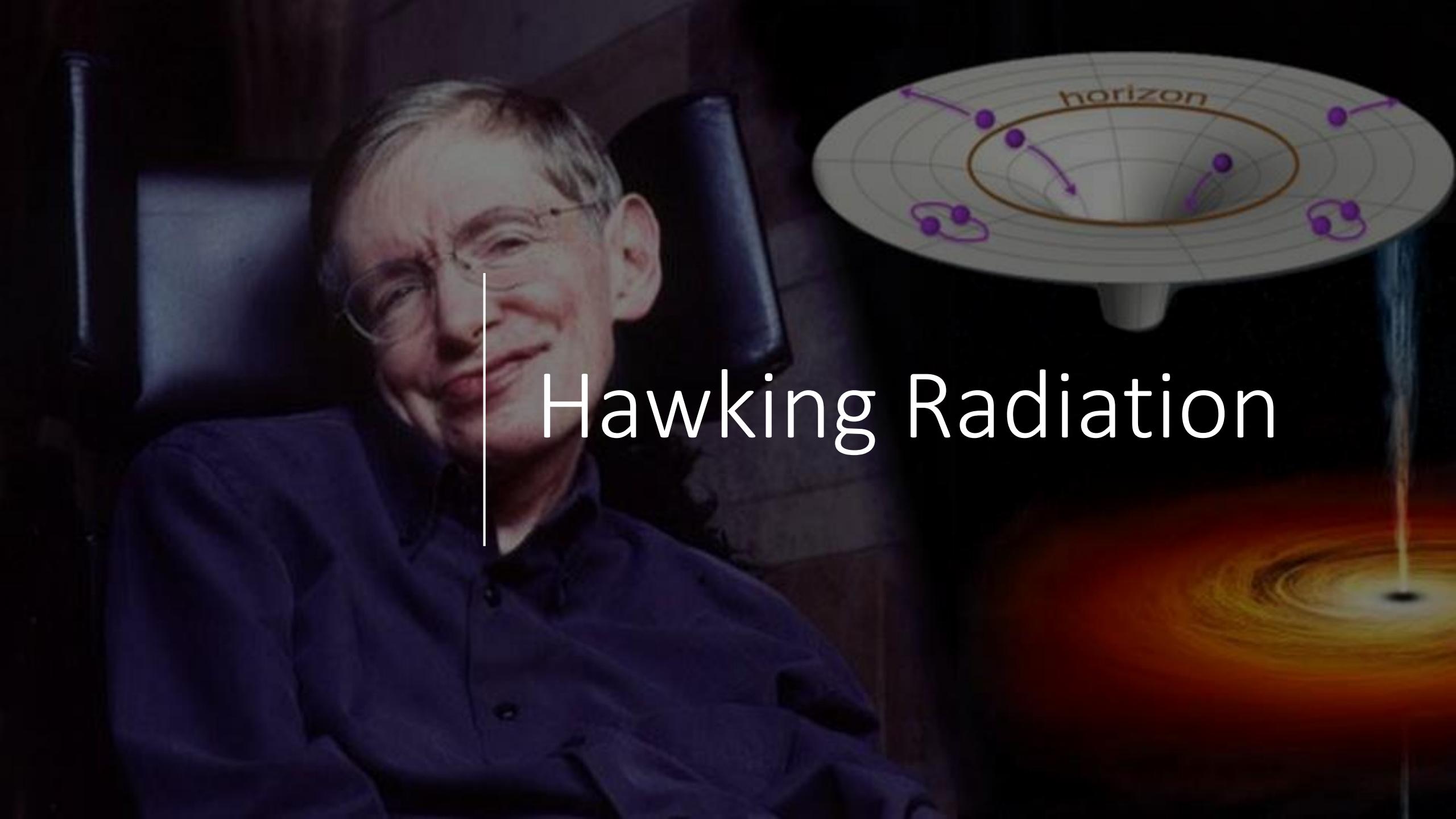
Si potrebbe pensare che i buchi neri siano un caso particolare e che estrapolare ciò che accade al loro interno all'intero universo significhi spingersi troppo oltre.

Tuttavia non è così. Infatti le informazioni si trovano incorporate nella materia, che è dotata di massa, e se desideriamo ottenere la massima quantità di informazione possibile in una regione di spazio, il limite sarà dato dalla massa della regione stessa. A partire da una certa densità la gravità diventa talmente intensa che nemmeno la luce è in grado di sfuggire: abbiamo così creato un buco nero.

I buchi neri sarebbero quindi gli oggetti con la densità di informazioni più alta dell'universo e le **informazioni che contengono sarebbero proporzionali alla loro area!**



$$S_{BH} = \frac{kc^3}{4\hbar G} A$$

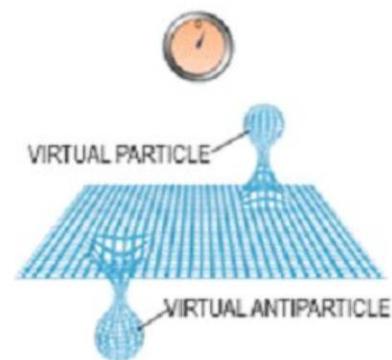
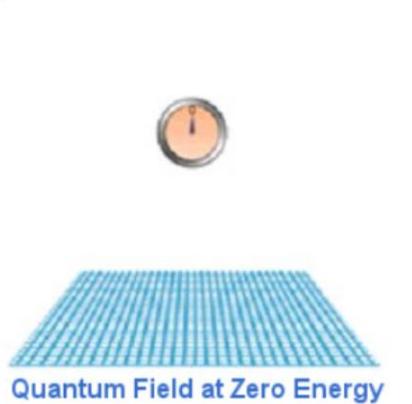


# Hawking Radiation

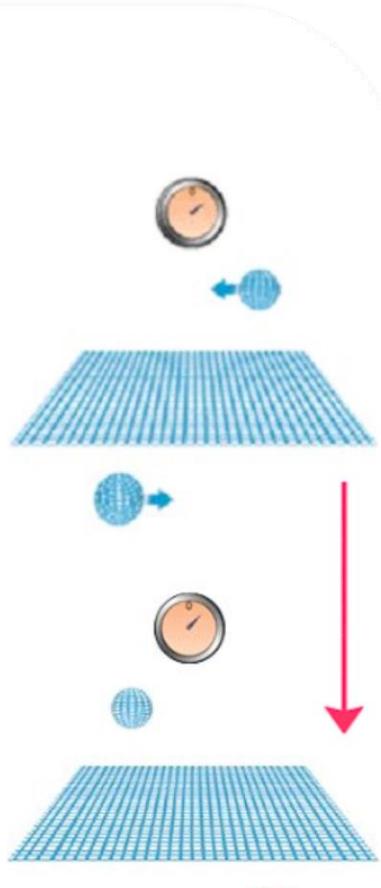


# Il vuoto non è vuoto!

## Virtual Particles...



$$\Delta E \cdot \Delta t < \frac{\hbar}{2}$$



James Owen Weatherall

# LA FISICA DEL NULLA

LA STRANA STORIA  
DELLO SPAZIO VUOTO

«Un piacere da leggere per i lettori curiosi e una fonte preziosa di idee per scienziati e filosofi».

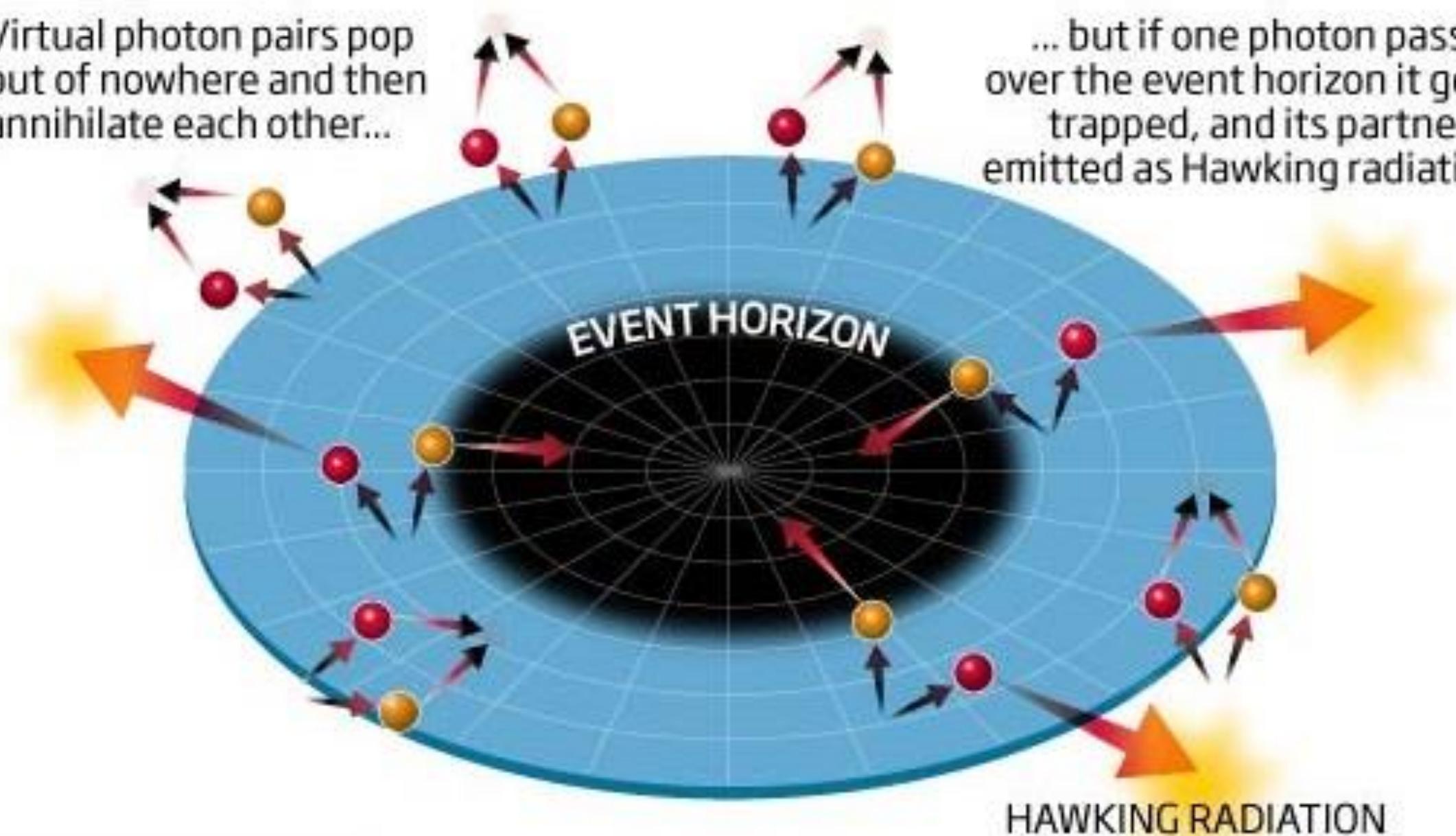
Carlo Rovelli, autore di *Sette brevi lezioni di fisica*

Bollati Boringhieri

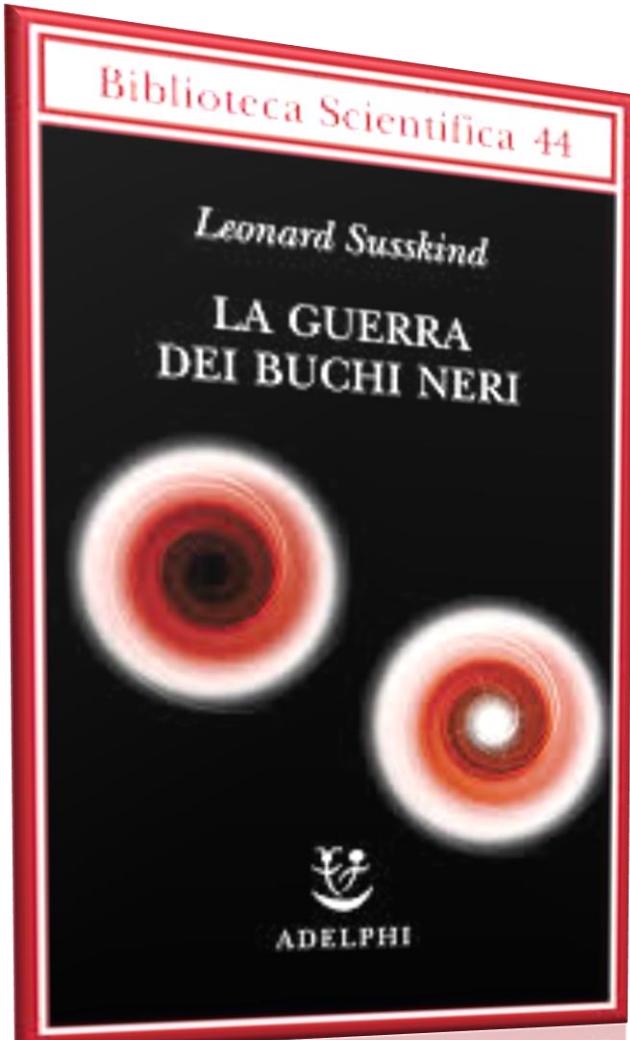
## BLACK HOLE

Virtual photon pairs pop out of nowhere and then annihilate each other...

... but if one photon passes over the event horizon it gets trapped, and its partner is emitted as Hawking radiation

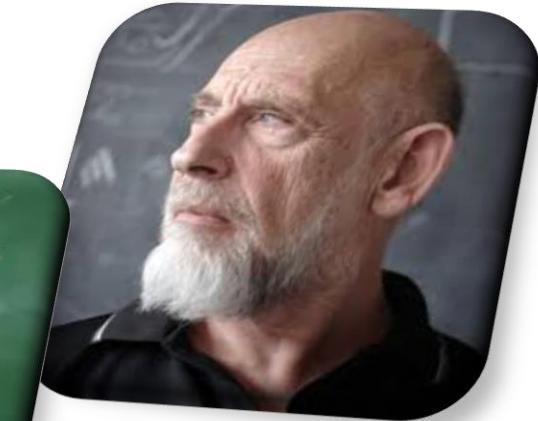


# Dove finisce l'informazione?



La radiazione di Hawking non presenta alcuna relazione con la materia o con la radiazione assorbite all'interno del buco nero. Qualsiasi cosa ci sia all'interno del buco nero, dell'informazione contenuta in questi sistemi fisici, quando il buco nero evapora resterà solo quella radiazione che non ha nulla a che vedere con l'informazione. Secondo Hawking **L'informazione è perduta per sempre!**

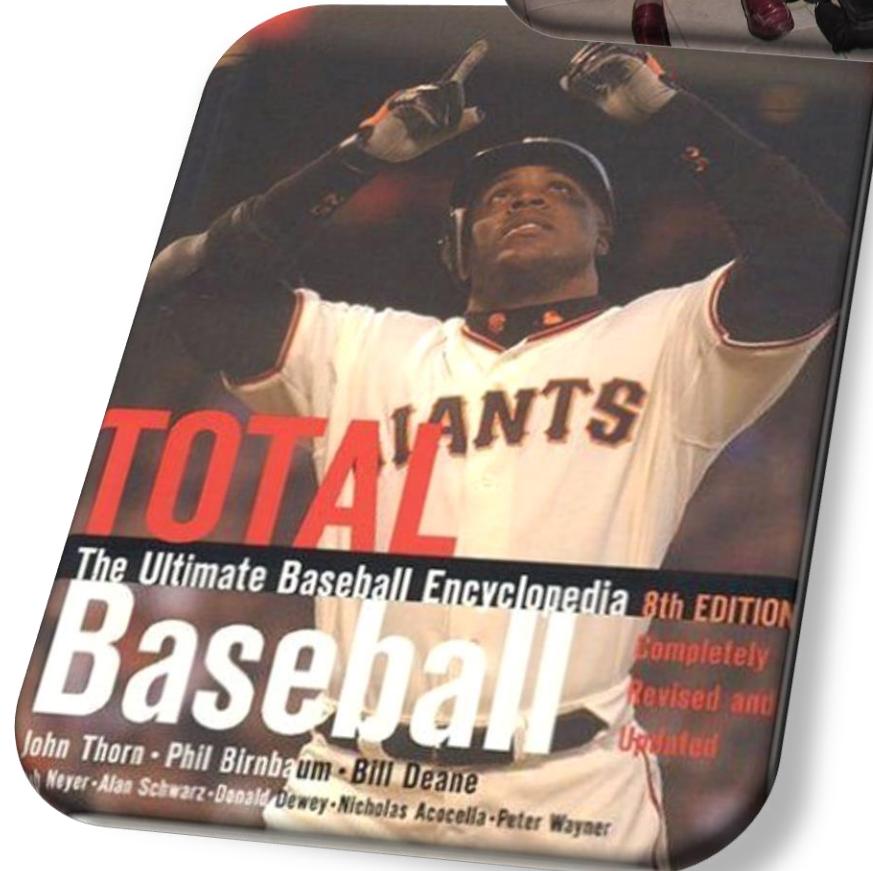
**Fu l'inizio della Guerra dei Buchi Neri!!!**



# Inquietanti correlazioni

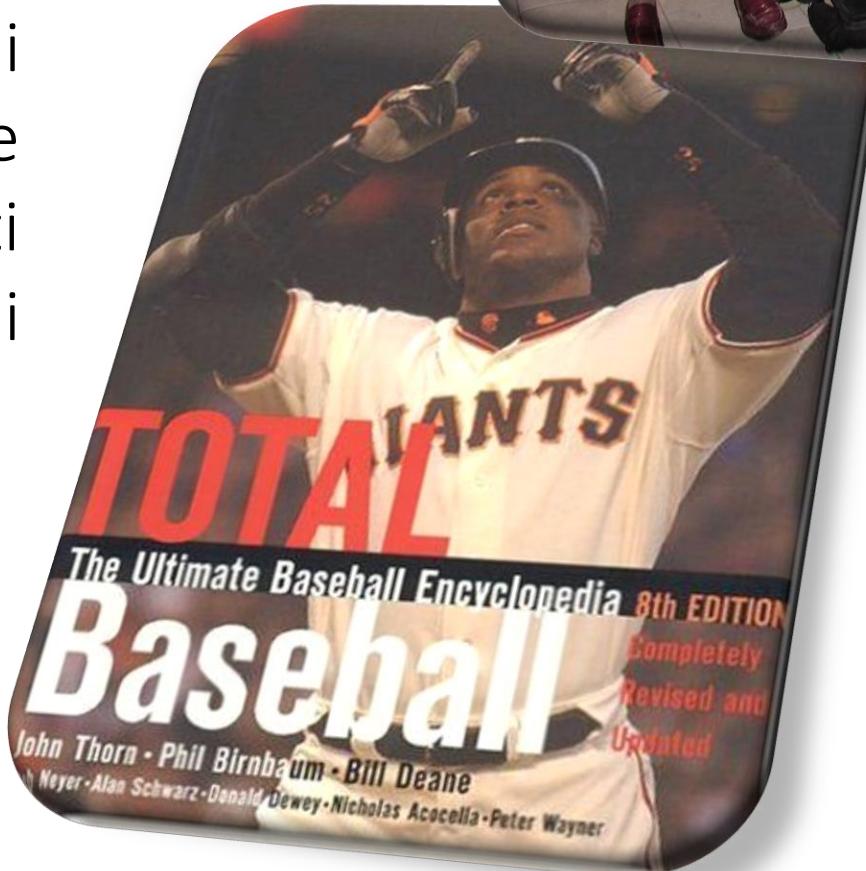
Una delle principali [ipotesi teoriche](#) prevede che l'informazione possa emergere all'esterno attraverso minuscole correzioni create da effetti di gravità quantistica, che modificano in modo sottile la radiazione termica emessa da un buco nero.

Fu proprio l'ipotesi delle piccole correzioni a indurre Stephen Hawking a concedere, forse prematuramente, la vittoria a John Preskill in una [scommessa fatta nel 1997](#) circa il destino dell'informazione in un buco nero.

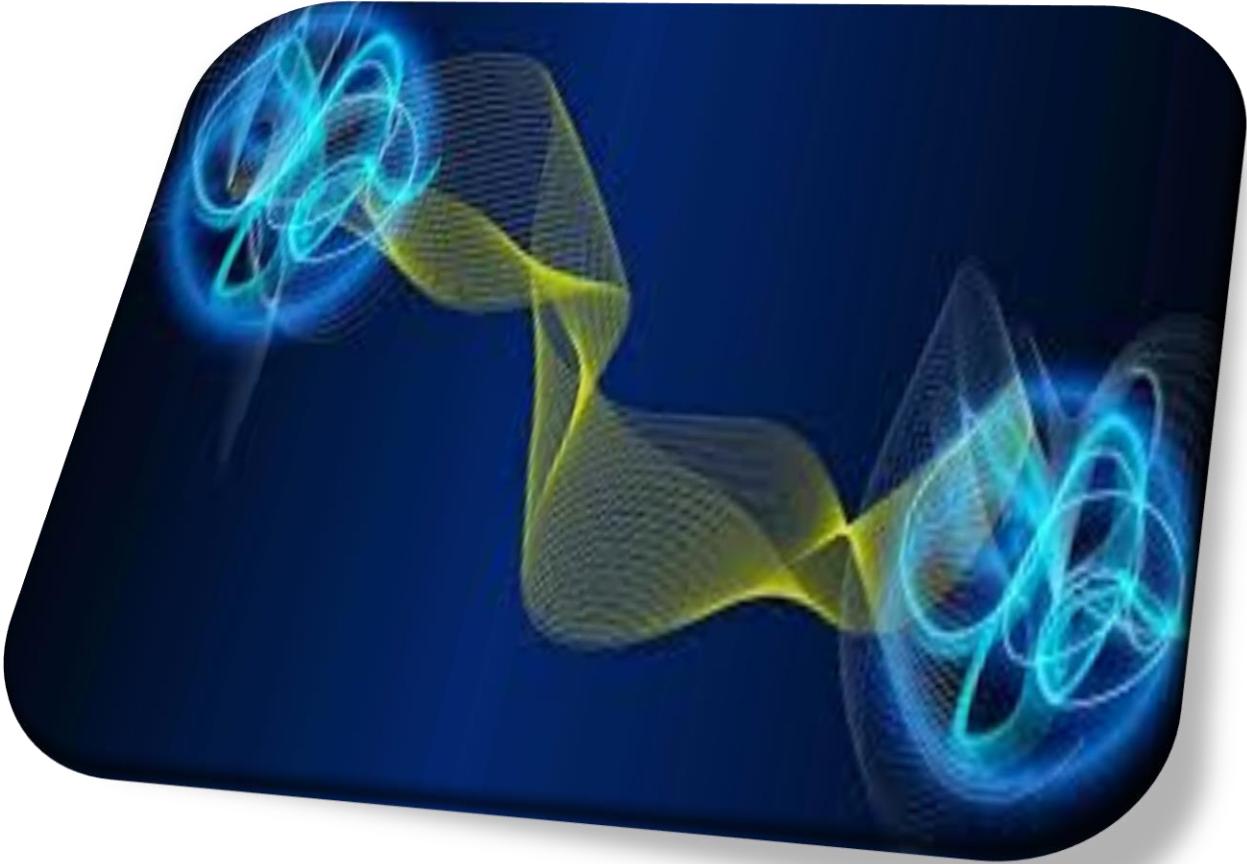


# Inquietanti correlazioni

In base a tale ipotesi, tutta la radiazione emessa da un buco nero nel corso della sua lenta evaporazione deve trovarsi in stato di [entanglement](#), con tutte le particelle e i fotoni ad essa appartenenti correlati quantisticamente gli uni agli altri.

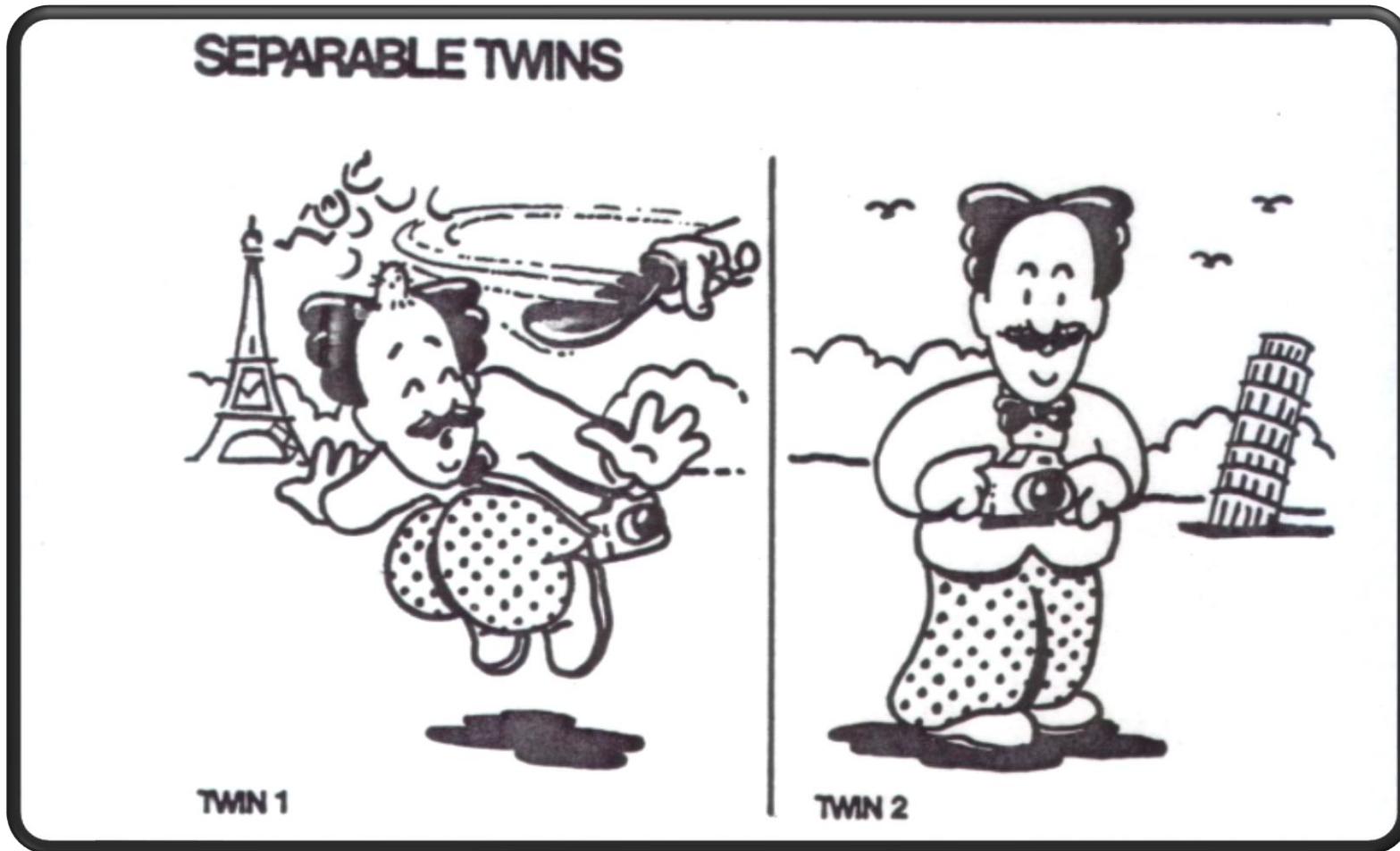


# Spettrale azione a distanza

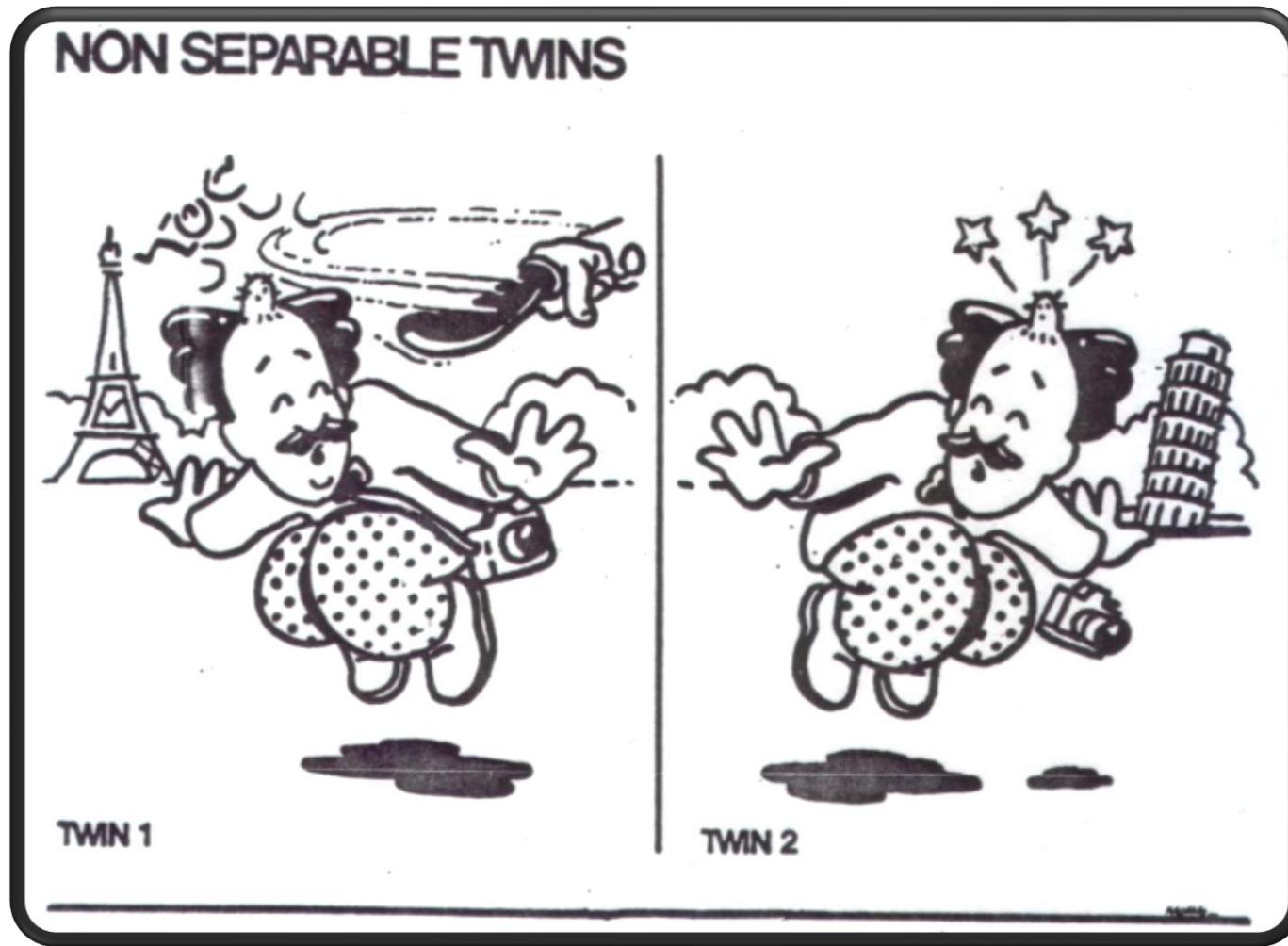


In estrema sintesi, il **concepto di entanglement** è basato sull'assunzione che gli stati quantistici di due particelle microscopiche A e B inizialmente interagenti possano risultare “intrecciati” tra loro in modo tale che, anche quando le due particelle vengono poste a grande distanza l’una dall’altra, la modifica che dovesse occorrere allo stato quantistico della particella A istantaneamente avrebbe un effetto misurabile sullo stato quantistico della particella B.

# La realtà è «separabile»?



# La realtà è «separabile»?

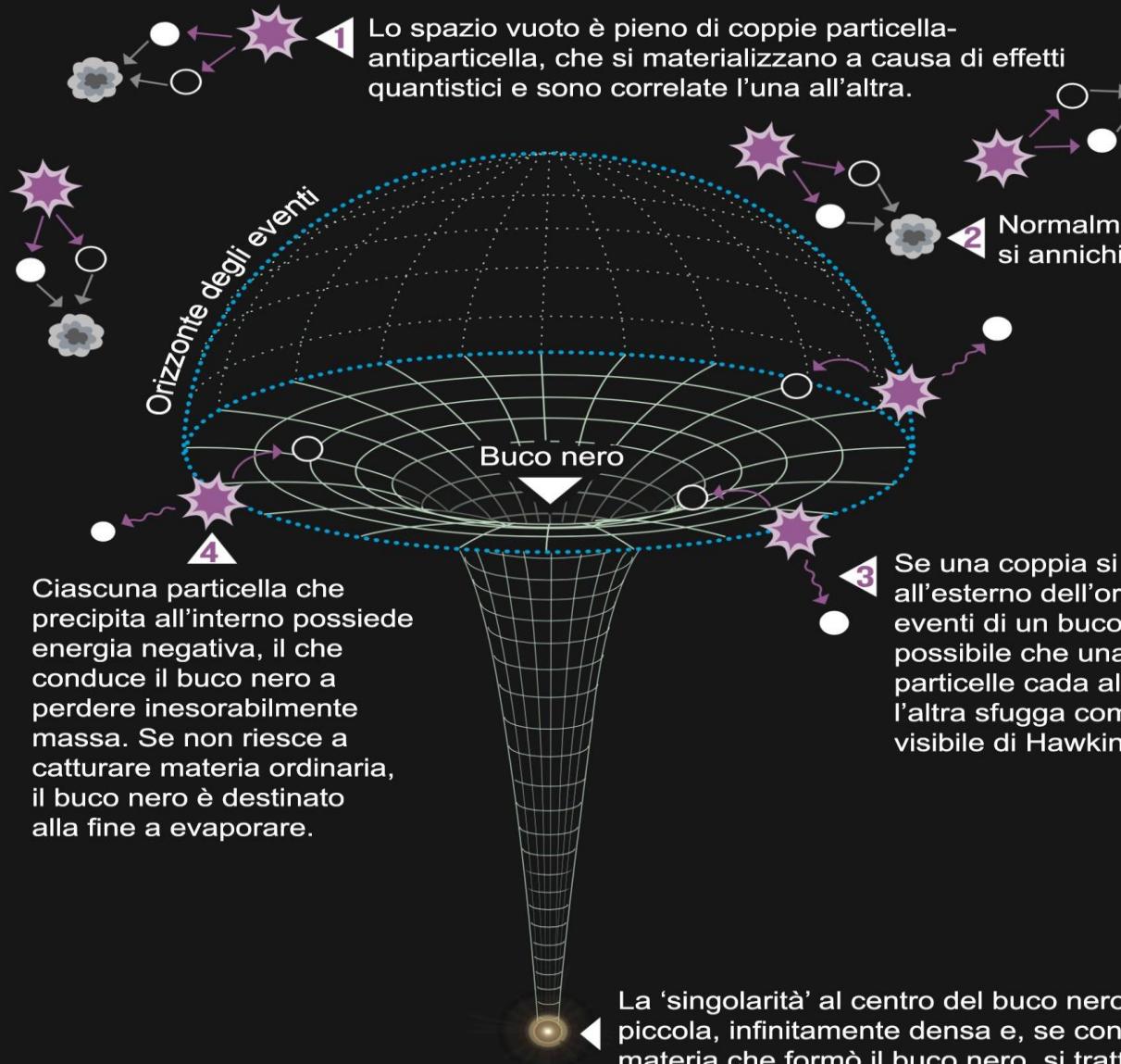


# IL PARADOSSO DELL'INFORMAZIONE

La materia che cade in un buco nero è compressa in un punto centrale di densità infinita.  
Due scenari tentano di spiegare cosa accade all'informazione che riguarda quella materia.

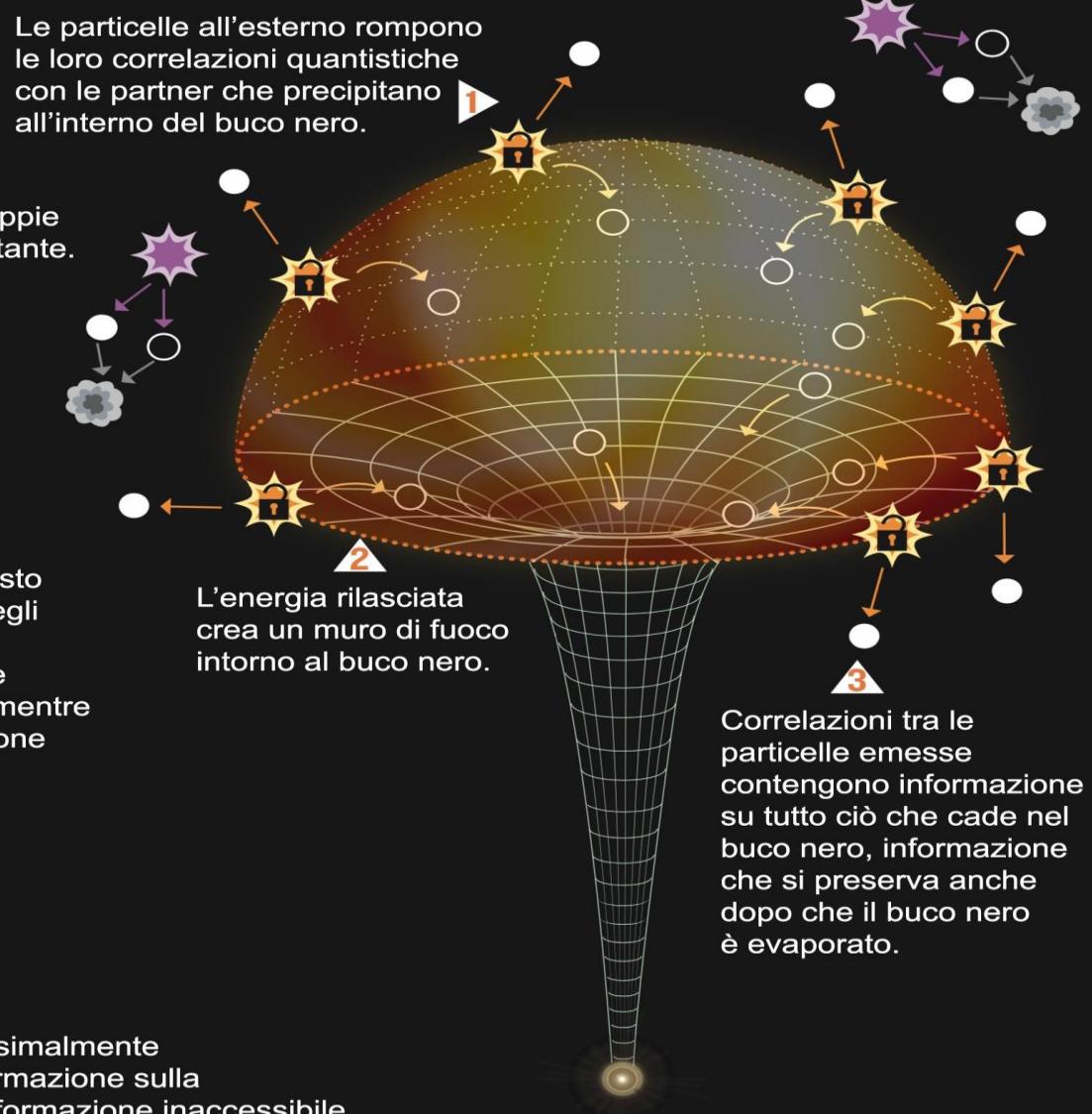
## SCOMPARSA

Quando il buco nero evapora, tutta l'informazione scompare con esso.



## FIREWALL

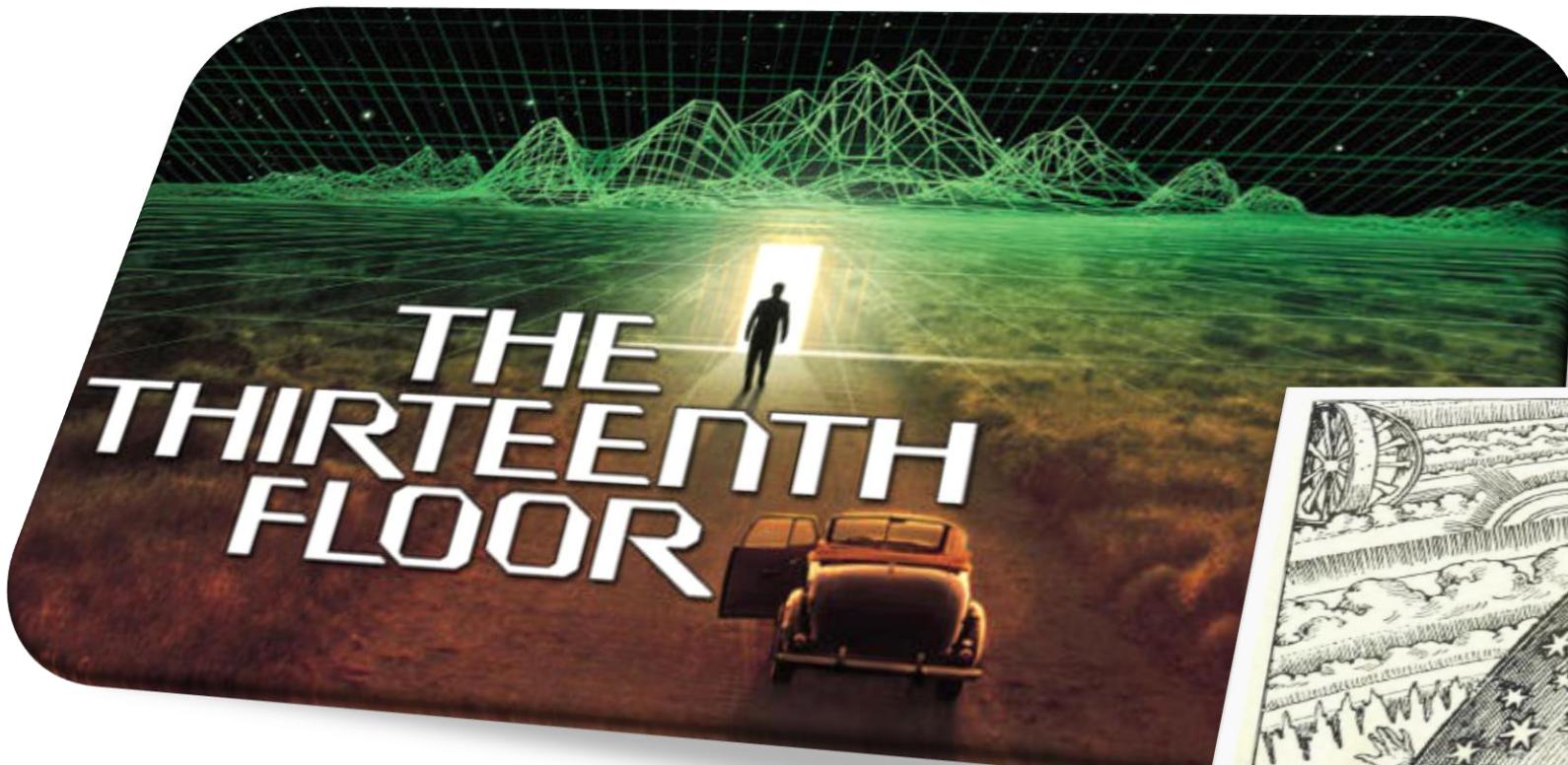
L'informazione è trasportata via da correlazioni quantistiche tra tutte le particelle che formano la radiazione emessa dal buco nero.



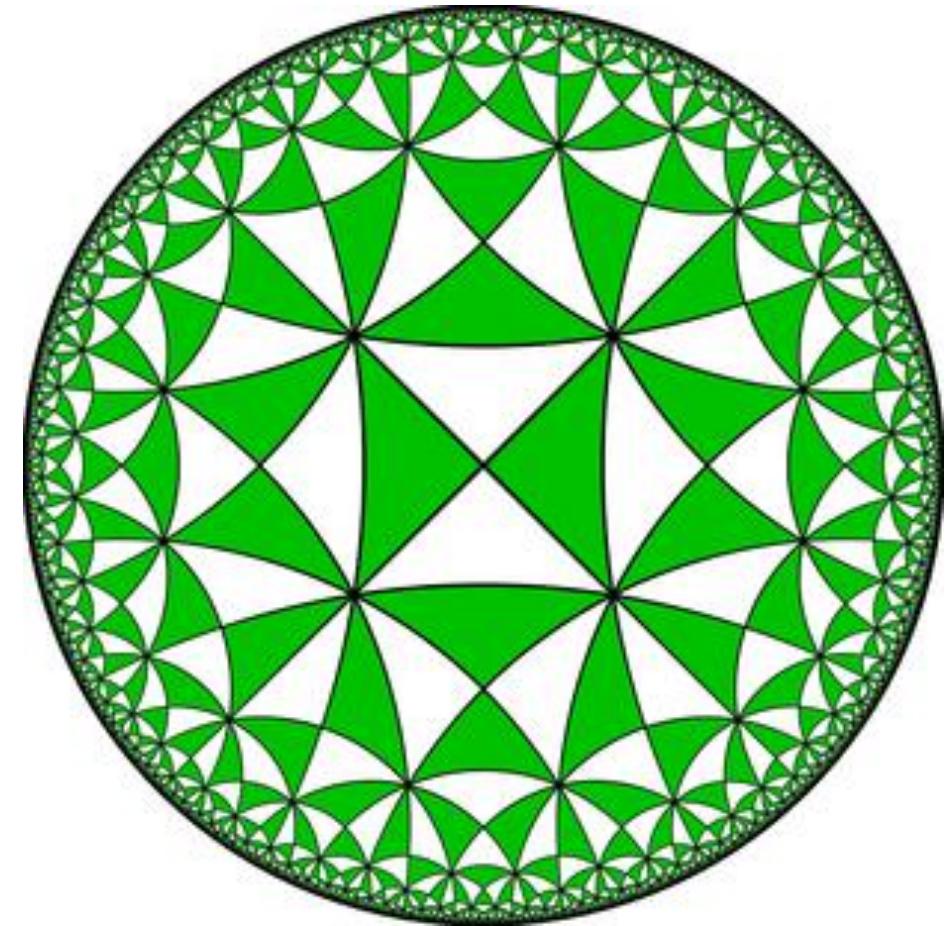
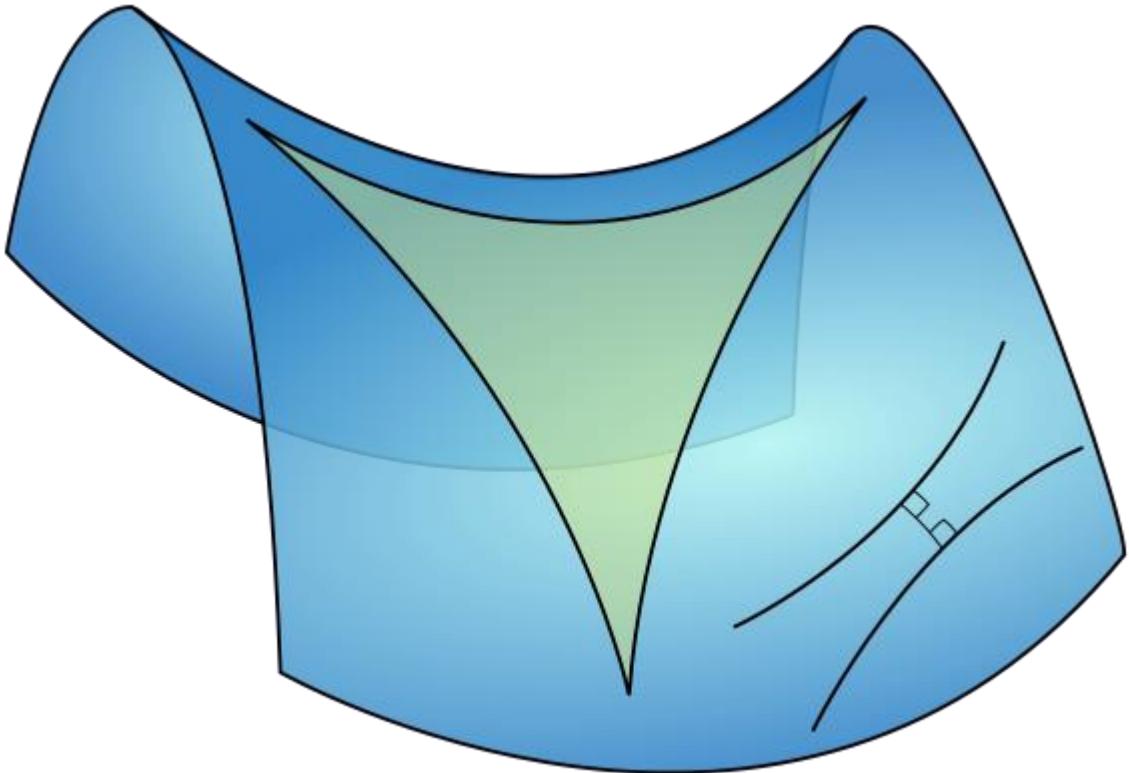


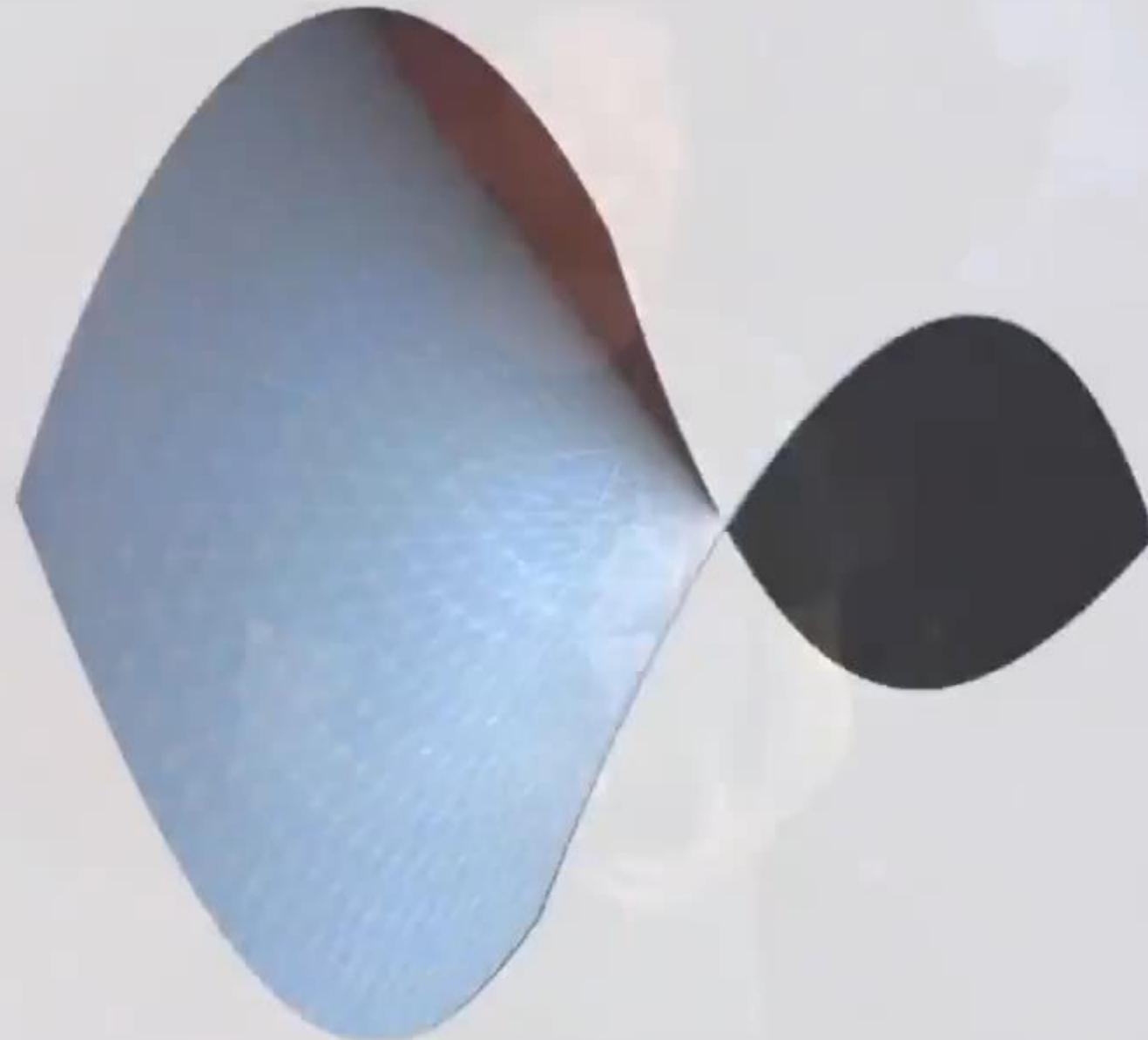
Il bordo dell'infinito

# Il bordo dell'infinito

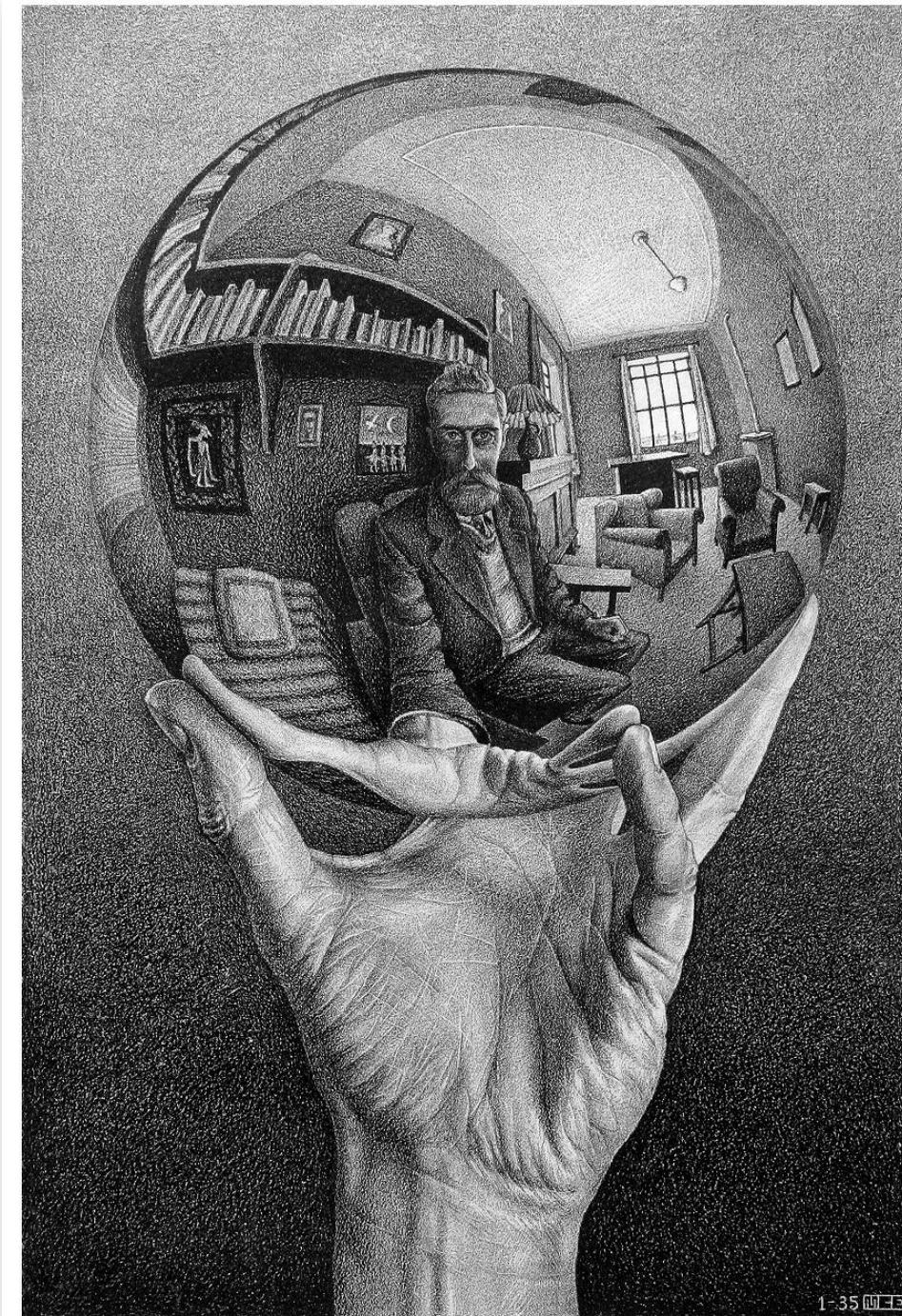
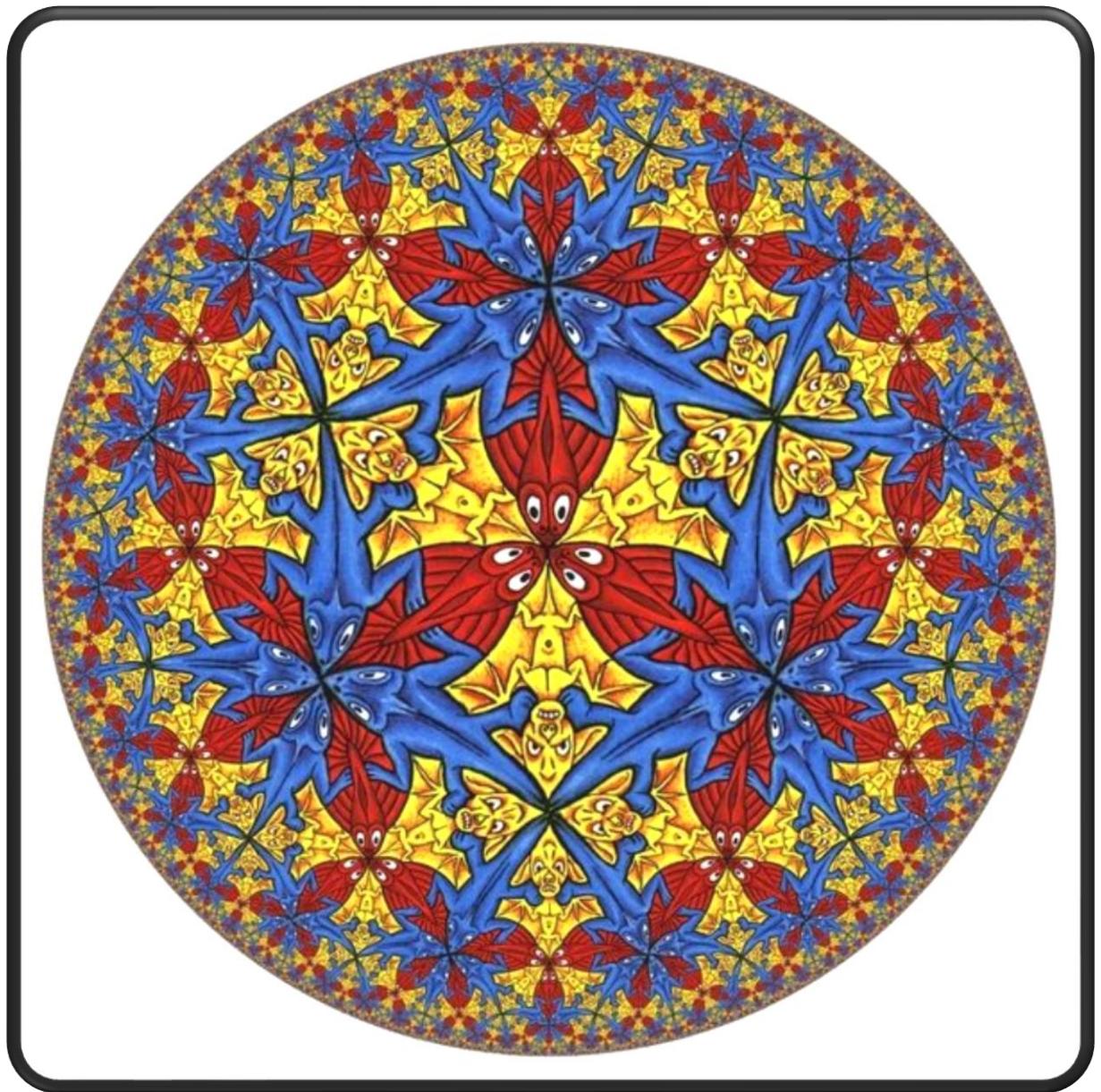


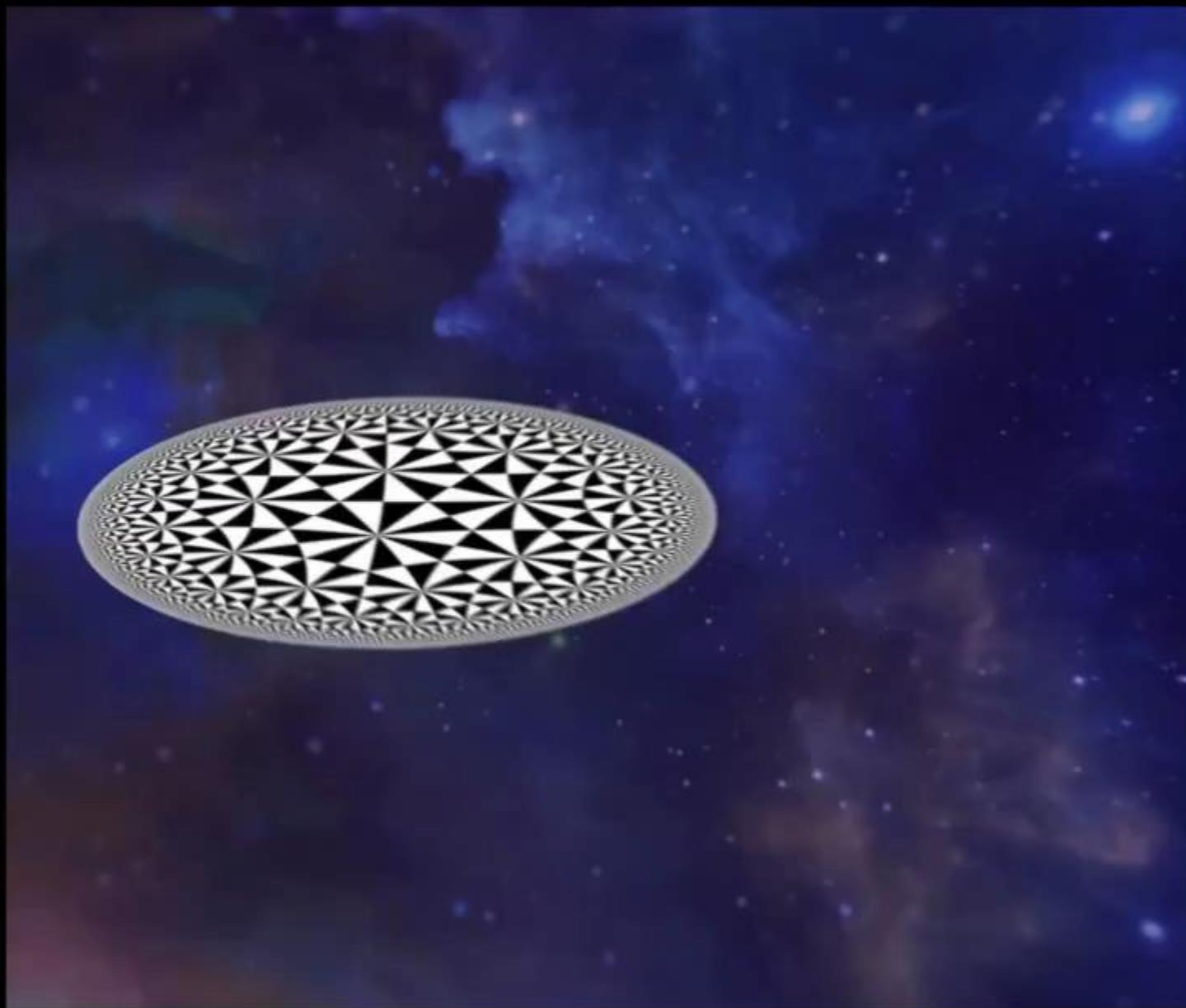
# Il bordo dell'infinito



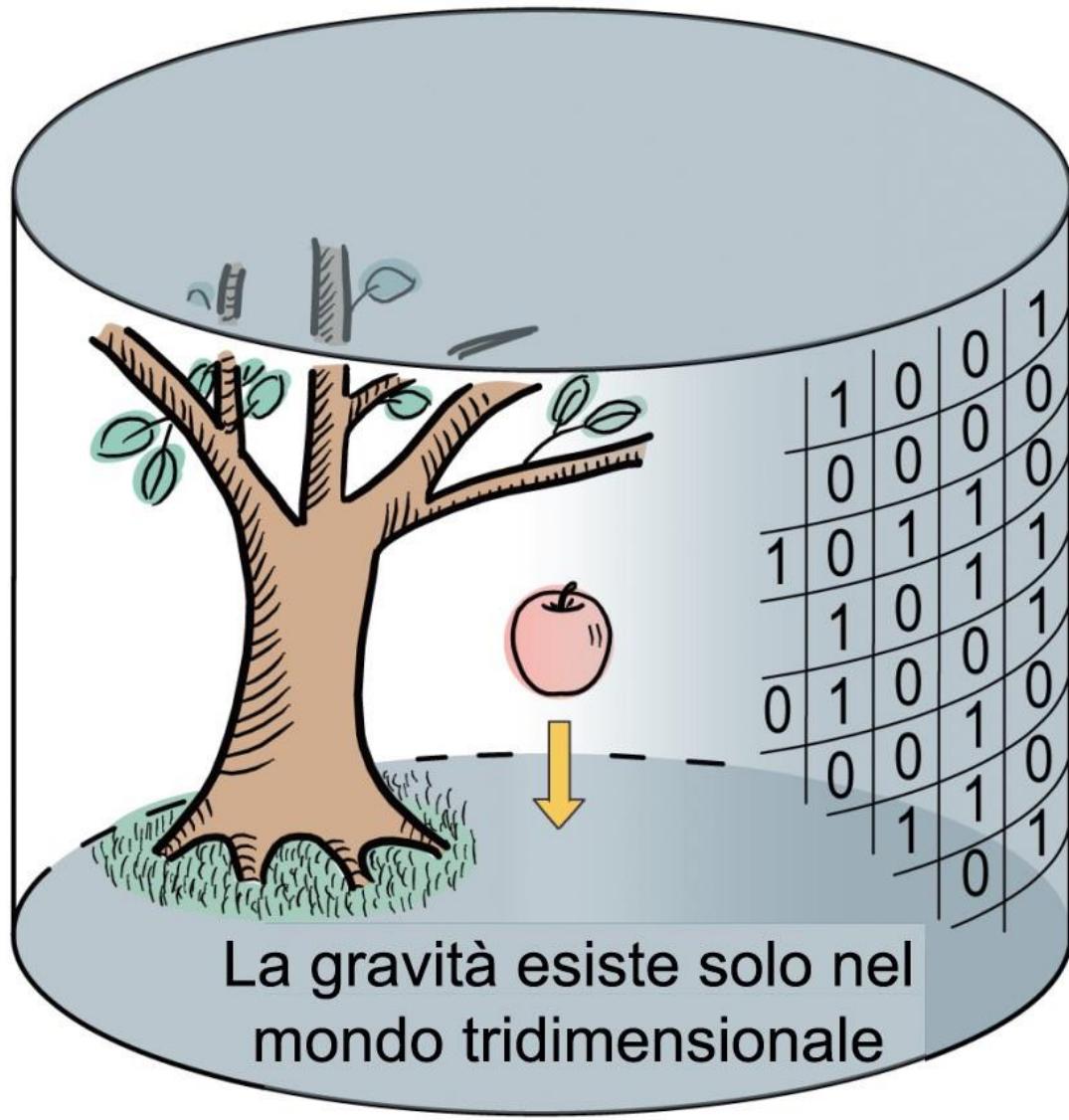


CREDIT: YOUTUBE, TNHATH

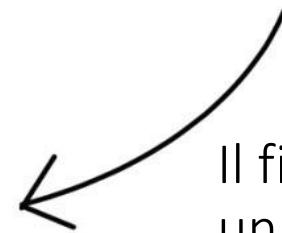
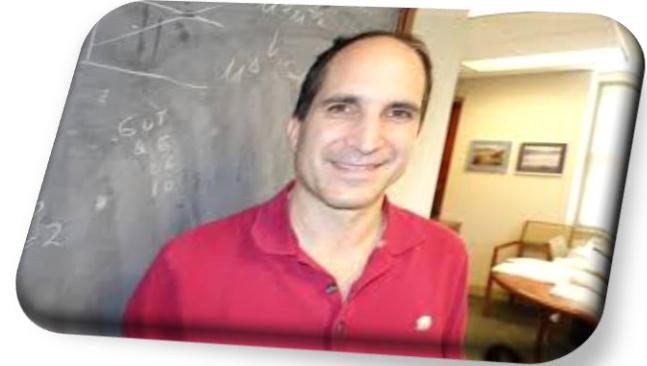




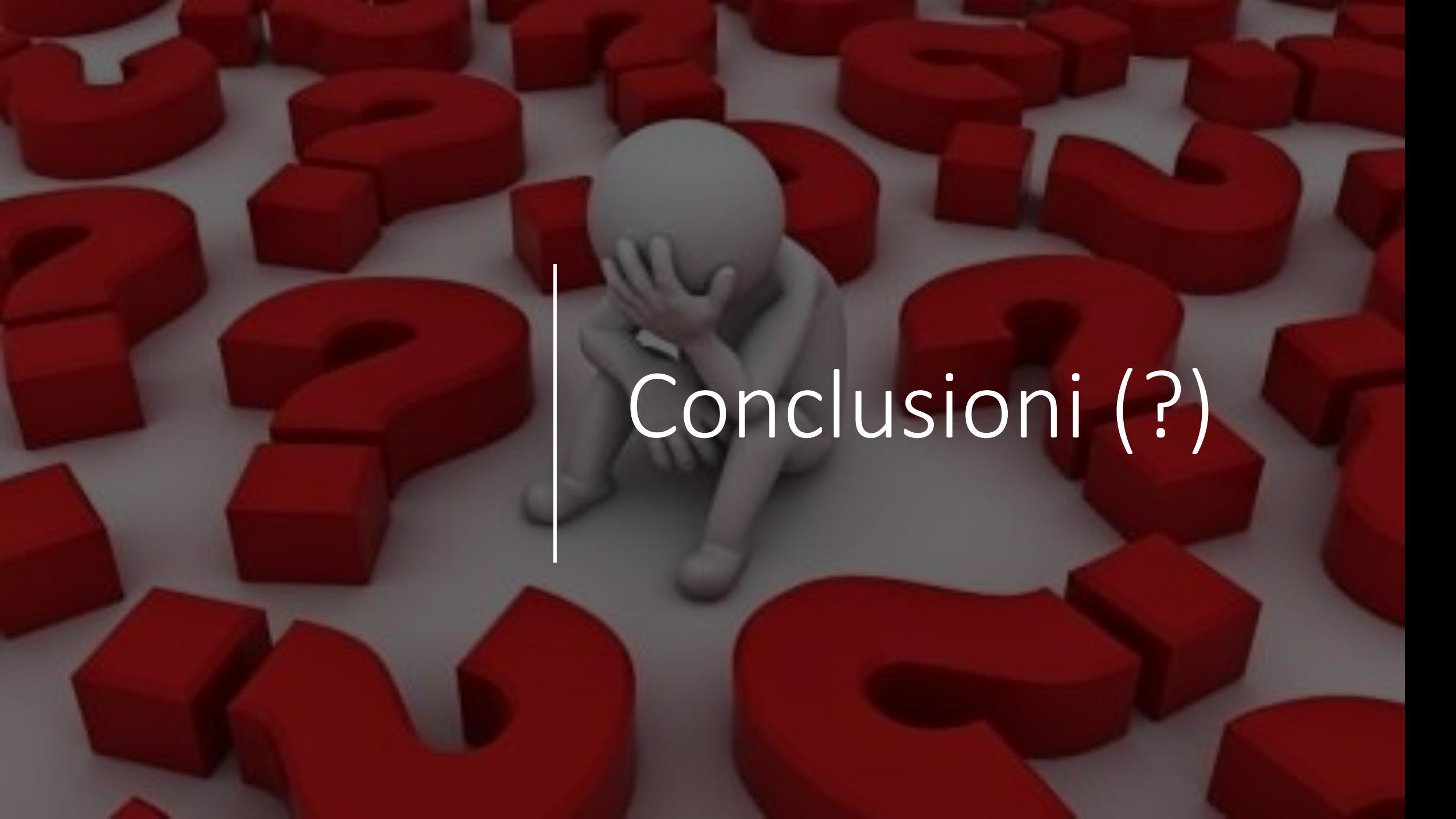
kapwing.com



## Dati proiettati su una superficie bidimensionale



Il fisico argentino Juan Maldacena presentò una coerente formulazione matematica del principio olografico, basata sulla teoria supersimmetrica delle stringhe. Il modello di Maldacena descrive un universo 3D governato soltanto dalla gravità, contenente stringhe e buchi neri, collegato a una superficie 2D, situata a distanza infinita, nella quale: a) la gravità non esiste e b) particelle elementari e campi sottostanno senza eccezioni alle leggi della fisica quantistica.



Conclusioni (?)

# Conclusioni

I buchi neri, con le loro condizioni estreme di altissima gravità e materia super concentrata, portano alla luce il conflitto latente tra relatività generale e fisica quantistica, un conflitto che i fisici cercano di risolvere da molti decenni, lavorando a diverse versioni di una teoria della gravità quantistica, senza tuttavia essere riusciti ancora a raggiungere risultati definitivi e ampiamente condivisi.



# Conclusioni

Il fatto che due descrizioni con dimensionalità distinta diano origine alla stessa fisica ci dice che forse lo spazio non è così fondamentale come crediamo. L'idea generale è che il principio olografico ci potrebbe condurre verso una teoria in cui lo spazio e il tempo emergono da una struttura più fondamentale.

Per il momento continua a non esserci una risposta definitiva. Tuttavia ci sono sempre più idee che sembrano convergere verso un'idea centrale, cioè che lo spazio e il tempo (e quindi la gravità) non siano entità fondamentali ma nascano dalla proprietà quantistiche della materia.



Grazie per la vostra attenzione



A dark, slightly out-of-focus photograph of a large stack of books. The spines of the books are visible, showing various colors like brown, green, and yellow. A single vertical white line is positioned to the left of the title text.

# Bibliografia

# Anton Zeilinger Il velo di Einstein

Il nuovo mondo della fisica quantistica



Introduzione agli aspetti più profondi, e paradossali, della Meccanica Quantistica, scritta da chi, con il suo gruppo, è riuscito a teletrasportare particelle a distanze anche considerevoli, sfruttando appunto le proprietà quantistiche della luce e della materia...

C'è poi il promettente filone di ricerca della computazione quantistica, che forse rivoluzionerà la costruzione dei calcolatori, e anche il modo stesso con cui intendiamo il concetto di calcolo.



Vi pare sensato che una minima azione su una particella abbia immediatamente effetto sulla particella gemella anche se questa è stata spedita a un universo di distanza? Questa straordinaria proprietà sembra una caratteristica ineliminabile della teoria della fisica più accreditata e potente di cui oggi disponiamo: la meccanica quantistica. Nota con il termine tecnico di "entanglement", un intreccio tra particelle ben più intimo di qualsiasi legame di coppia incluso quello che si instaura tra due ballerini di tango, costituisce la sfida maggiore per fisici e filosofi da quando Werner Heisenberg cominciò a scandagliare i misteri dell'infinitamente piccolo.



La scienza moderna potrà mai giungere a una teoria unitaria che spieghi ogni aspetto della realtà? Sí, arguisce Deutsch, ma si tratterà di una teoria ben diversa da quella che gli scienziati attualmente immaginano.

Esistono già quattro «fili» della trama della realtà: la meccanica quantistica, la teoria dell'evoluzione, la teoria dell'universalità della computazione e l'epistemologia popperiana. Accettandone anche le affermazioni piú controiduitive - come il fatto che esistono infiniti universi paralleli, che nulla vieta i viaggi nel tempo, o che la realtà a cui abbiamo accesso è, tecnicamente, solo «virtuale» - possiamo giungere a una concezione unitaria fondamentalmente ottimistica, razionale e basata sul realismo, punto di partenza per nuove idee e per le piú impreviste aperture della nostra conoscenza.

Raffaello Cortina Editore

# Leonard Susskind Art Friedman **Meccanica quantistica**

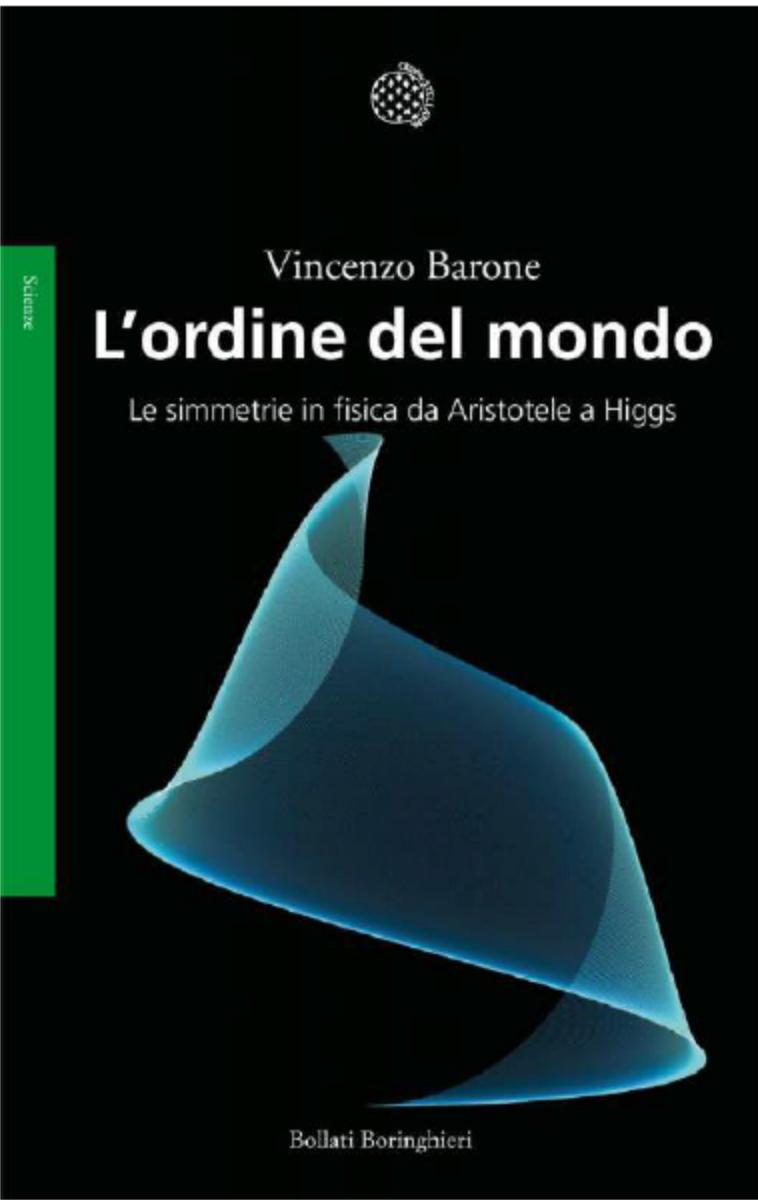
Il minimo indispensabile  
per fare della (buona) fisica



SCIENZA  
E IDEE

Collana diretta  
da Giulio Gherelli

Basato su una fortunata serie di lezioni che Susskind tiene alla Stanford University, *Meccanica quantistica* è una straordinaria “cassetta degli attrezzi” per gli appassionati di scienza che desiderino comprendere la Meccanica Quantistica... Diversamente da altre opere divulgative, che eludono le stranezze della fisica dei quanti, questo libro illustra tutti gli aspetti bizzarri della logica che la governa. I lettori troveranno presentazioni dettagliate dei concetti di stato, indeterminazione, dipendenza temporale, entanglement, onde e particelle, e di molto altro. Ogni capitolo contiene esercizi ...



Le simmetrie, principi di invarianza delle leggi di natura, stabiliscono che «tutto rimane com'è anche se cambiamo qualcosa». È un'affermazione paradossale, che ha implicazioni scientifiche di enorme portata... Oggi sappiamo che le simmetrie organizzano l'intero universo: determinano le entità fondamentali che lo compongono, le loro proprietà e le loro interazioni. Inoltre – ed è molto importante – conferiscono «bellezza» alle teorie fisiche, rendendole semplici e coerenti... un libro unico, che illustra le simmetrie e la loro funzione nella fisica, ripercorrendo un'avventura intellettuale affascinante che, dai primi filosofi-scientifici dell'Antichità fino ai protagonisti della fisica contemporanea, ci ha avvicinato sempre di più alla comprensione della natura.



James Owen Weatherall

# LA FISICA DEL NULLA

LA STRANA STORIA  
DELLO SPAZIO VUOTO

«Un piacere da leggere per i lettori curiosi e una fonte preziosa di idee per scienziati e filosofi».

Carlo Rovelli, autore di *Sette brevi lezioni di fisica*

Bellati Boringhieri

«Perché esiste qualcosa anziché il nulla?». Nelle mani di un fisico la domanda assume un valore del tutto inaspettato. Per Newton era necessario che esistesse a priori uno «spazio», di per sé «vuoto», dentro il quale si potesse sviluppare il dramma della materia e delle sue leggi. Con Maxwell, il campo elettromagnetico riempiva lo spazio «vuoto» di «qualcosa». Con Einstein e il suo spazio-tempo curvo la trama stessa della realtà si deforma in relazione alle masse presenti; ed è difficile curvare qualcosa che non c'è. Il colpo di grazia all'idea stessa di vuoto lo ha dato infine la meccanica quantistica, specie con la teoria quantistica dei campi, nella quale il vuoto diventa in effetti un luogo piuttosto vivace. Per quanto strano possa sembrare, insomma, il «nulla» è «qualcosa».



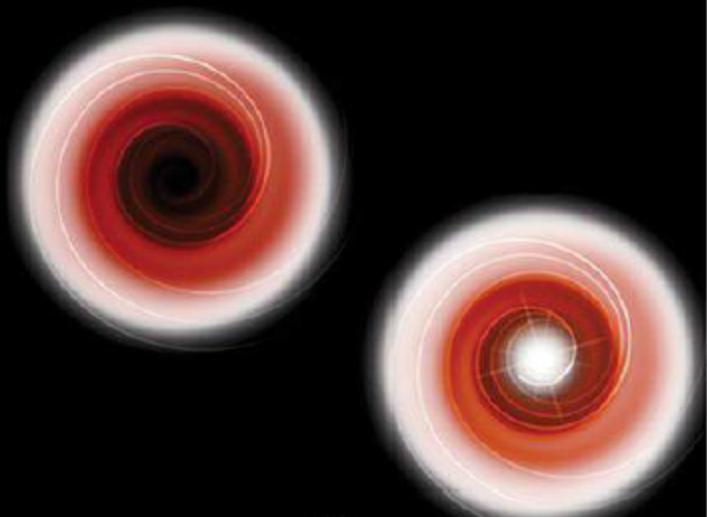
Tutto quanto avviene nell'universo è il risultato delle vibrazioni di singole unità, ultramicroscopiche stringhe ... I "modi di vibrazione", le "note" intonate da queste stringhe, determinano la costituzione intima della materia ...

La rivoluzionaria visione dell'universo che emerge da questa idea prevede dimensioni nascoste e arrotolate nelle pieghe dello spazio, buchi neri che si trasformano in particelle elementari, discontinuità nella tessitura dello spaziotempo e universi che generano altri universi...

Biblioteca Scientifica 44

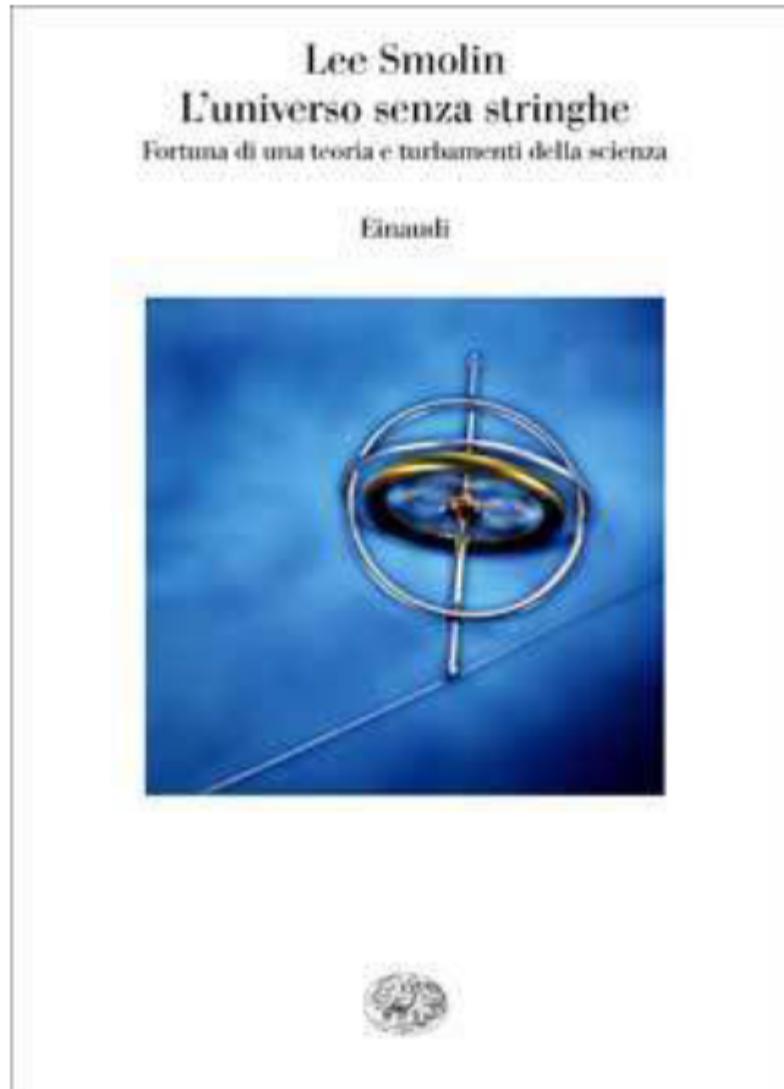
*Leonard Susskind*

LA GUERRA  
DEI BUCHI NERI



ADELPHI

Negli anni '70, Hawking mostrò che i buchi neri «evaporano», emettono cioè radiazione termica, e rimpiccioliscono nel corso del processo sino a scomparire. Ne discendeva una domanda cruciale: l'informazione inghiottita dal buco nero riemerge o scompare con il buco nero? Hawking non aveva dubbi: viene cancellata per sempre. A Susskind questa affermazione è apparsa come una dichiarazione di guerra. Se Hawking aveva ragione, infatti, si avrebbe la violazione del fondamentale principio secondo il quale anche nell'informazione nulla si crea e nulla si distrugge. La storia di come Susskind sia riuscito ad avere la meglio su Hawking e a ritrovare i bit scomparsi porta ad un nuovo paradigma: il mondo in cui viviamo non è che la proiezione in tre dimensioni di una realtà bidimensionale situata ai confini dell'universo.



La teoria delle stringhe appare a molti la migliore candidata in grado di tenere assieme in un quadro coerente i risultati della meccanica quantistica e della relatività. Ma una minoranza dei teorici, tra i quali Smolin, non è d'accordo.

La teoria delle stringhe, secondo Smolin, non è neppure una teoria, almeno non nel senso classico del termine, ma soprattutto non ha alcun aggancio possibile, e neppure pensabile, con la realtà empirica; nessuno sbocco sperimentale che possa convalidarla o smentirla. La domanda spontanea che si pone allora è: «Ma è scienza?»

L'universo senza stringhe parla della fisica, ma anche della scienza in generale, parla del cosmo e del mistero dell'energia oscura, ma anche dell'uomo e del suo modo di affrontare la realtà.

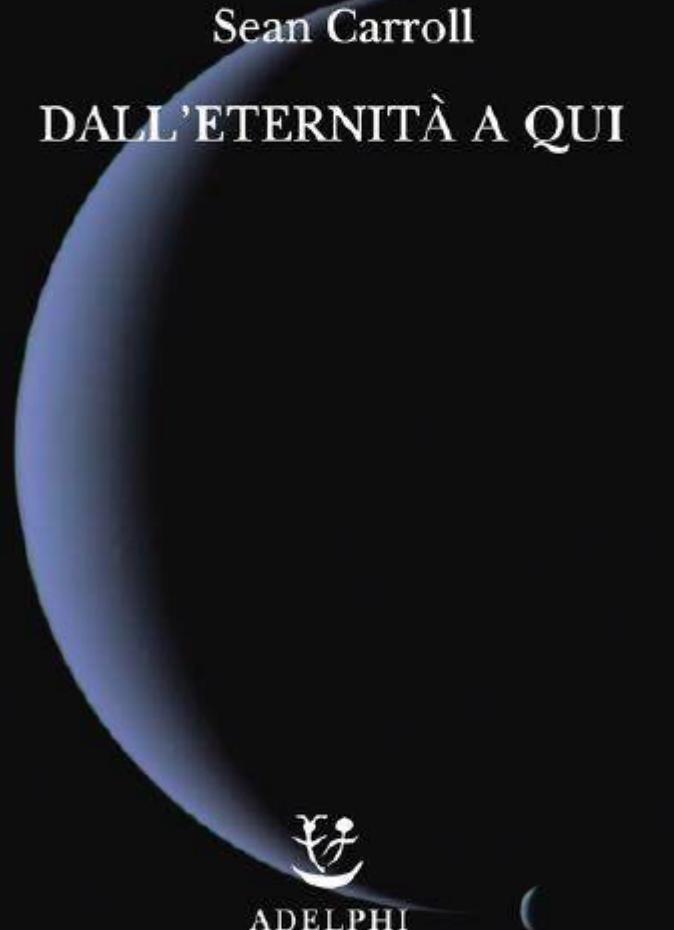


Tempo, spazio e materia appaiono generati da un pullulare di eventi quantistici elementari. Comprendere questa tessitura profonda della realtà è l'obiettivo della ricerca in gravità quantistica, la sfida della scienza contemporanea. In questo libro si racconta come sia cambiata la nostra immagine del mondo dall'Antichità alle scoperte più recenti: l'evaporazione dei buchi neri, l'Universo prima del big bang, la struttura granulare dello spazio, il ruolo dell'informazione e l'assenza del tempo in fisica fondamentale. L'autore disegna un vasto affresco della visione fisica del mondo, chiarisce il contenuto di teorie come la relatività generale e la meccanica quantistica, e offre una versione originale delle principali questioni oggi aperte.

Biblioteca Scientifica 49

Sean Carroll

DALL'ETERNITÀ A QUI



... il dilemma della freccia del tempo si presenta ogni volta che rompiamo un uovo in padella: possiamo trasformare l'uovo in frittata, ma non viceversa. Eppure, nel mondo quantistico il tempo è reversibile e la catena degli eventi può essere percorsa a ritroso. Questa contraddizione apre uno spiraglio nella comprensione dei profondi misteri del nostro universo. La freccia del tempo deve, infatti, la sua esistenza a proprietà dello spazio-tempo preesistenti allo stesso big bang...

Dopo un'ampia rassegna dei risultati e delle questioni ancora aperte della termodinamica, della relatività e della meccanica quantistica, Carroll suggerisce che il nostro universo faccia parte di un multiverso di mondi, in alcuni dei quali esseri simili a noi potrebbero sperimentare lo scorrere del tempo in direzione opposta.