



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Astrofisica

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 14

# Il mistero della Percezione e della Coscienza

# LA PERCEZIONE

## SENSAZIONE

ECCITAZIONE  
NERVOSA CHE SI  
GENERA A SEGUITO  
DELLA  
STIMOLAZIONE DEI  
NOSTRI ORGANI DI  
SENSO

(vista, udito, tatto,  
olfatto, gusto)



## PERCEZIONE

PROCESSO  
COGNITIVO  
ATTRAVERSO IL  
QUALE I DATI  
SENSORIALI SI  
TRASFORMANO IN  
FORME DOTATE DI  
SENSO  
POICHE' LA NOSTRA  
MENTE RIELABORA  
LE INFORMAZIONI  
CHE ARRIVANO DAI  
SENSI

**LA NOSTRA MENTE  
"INTERPRETA E "RICOSTRUISCE"  
LA REALTA'**





# LA PERCEZIONE VISIVA

## GLI PSICOLOGI DELLA GESTALT

(k. Kofka, M. Wertheimer)

HANNO DIMOSTRATO CHE LA  
PERCEZIONE SENSORIALE E  
IN PARTICOLARE LA  
PERCEZIONE VISIVA  
NON REGISTRA  
PASSIVAMENTE I DATI DELLA  
REALTA' MA LI  
CLASSIFICA E INTERPRETA

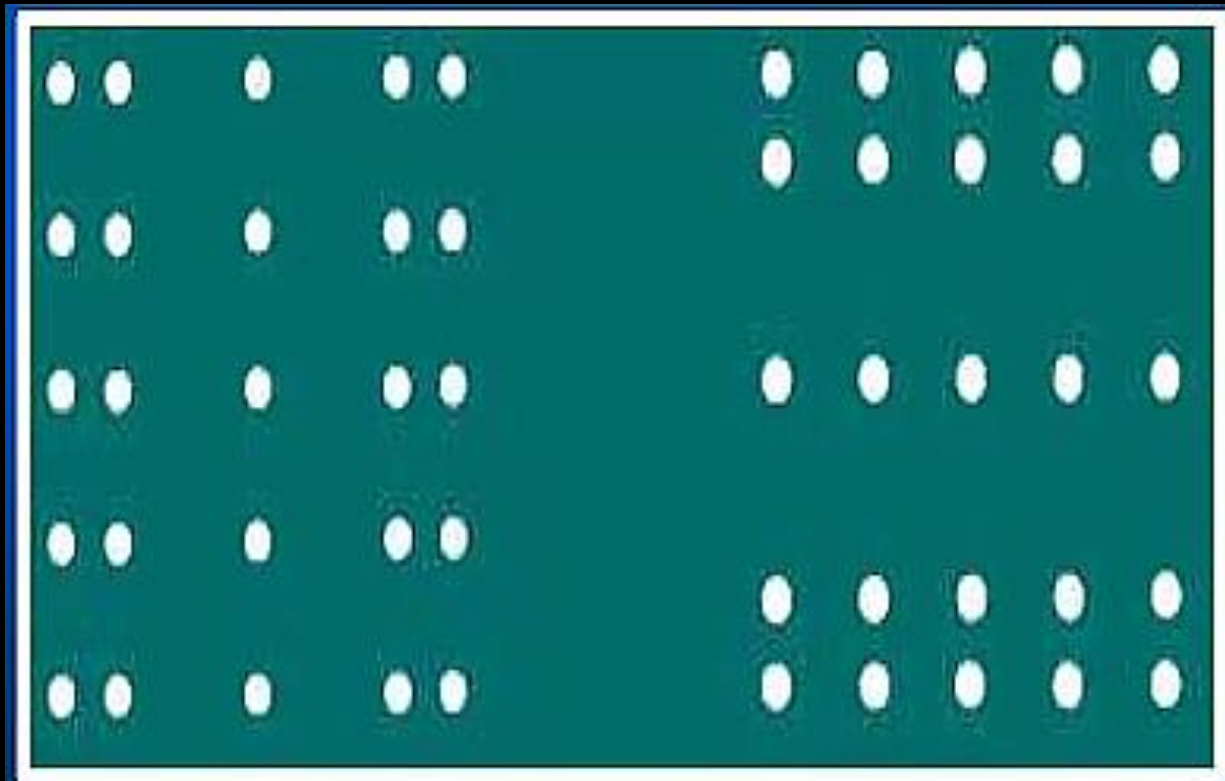


# **I PRINCIPI GESTALTICI DELLA PERCEZIONE**

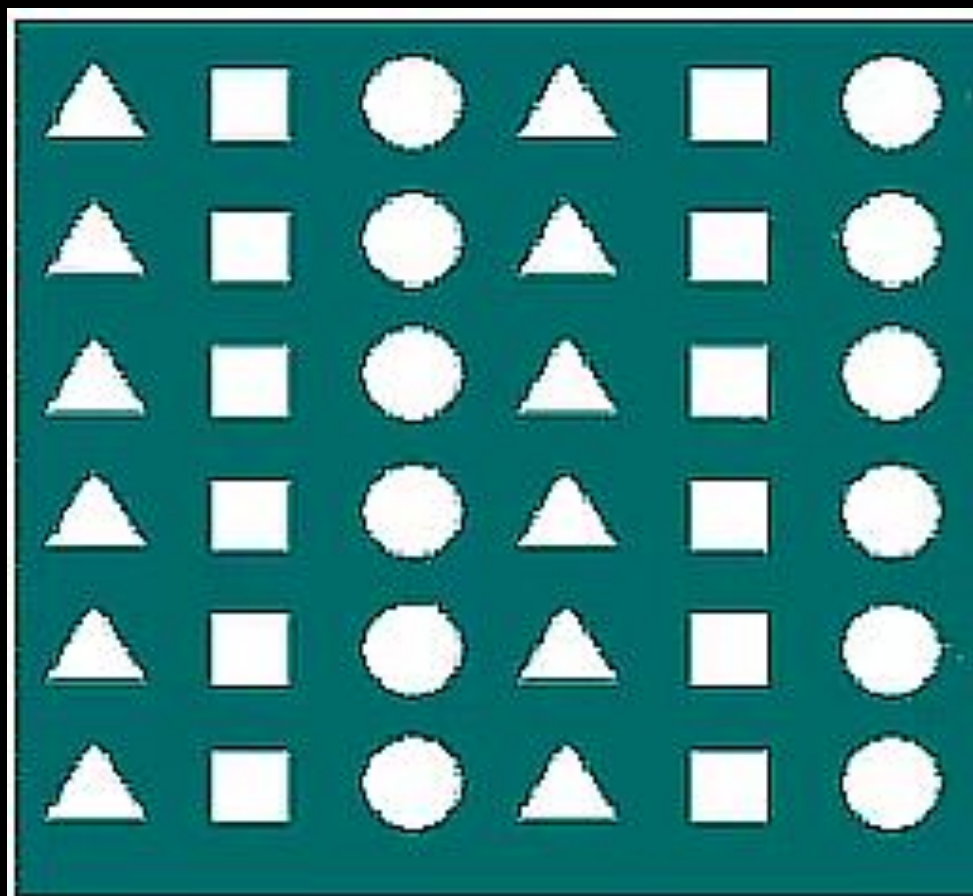
**SCHEMI INNATI  
CHE RAGGRUPPANO E UNIFICANO  
I DATI CHE RICEVIAMO  
ATTRAVERSO L'ORGANO DELLA  
VISTA**

# VICINANZA:

raggruppiamo oggetti vicini tra loro

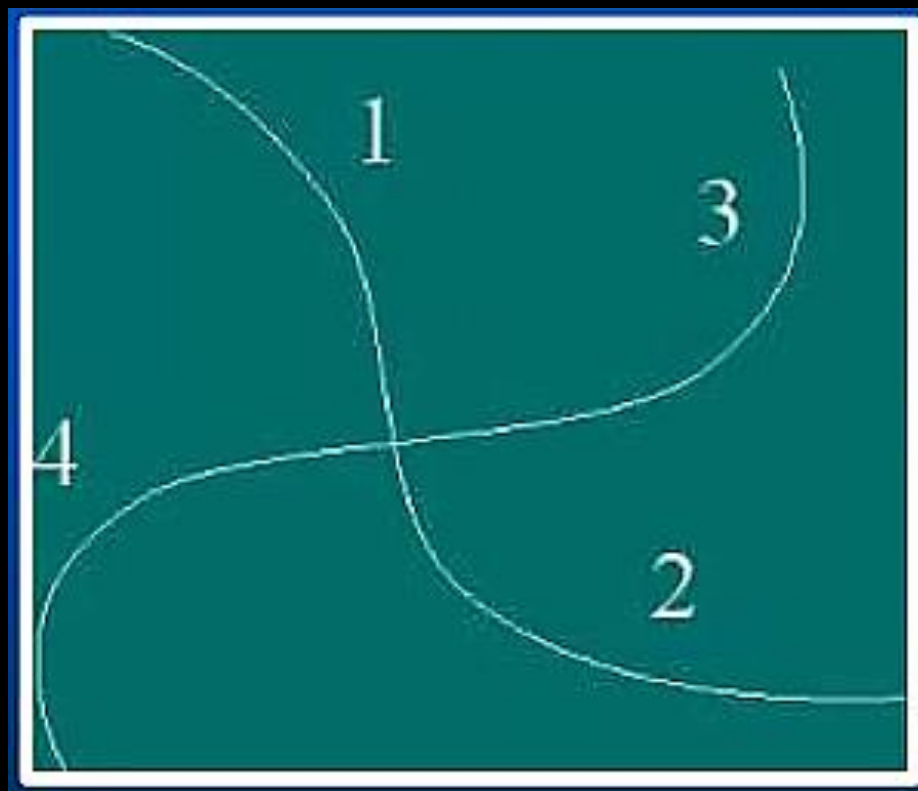


**SOMIGLIANZA:**  
raggruppiamo oggetti simili tra loro

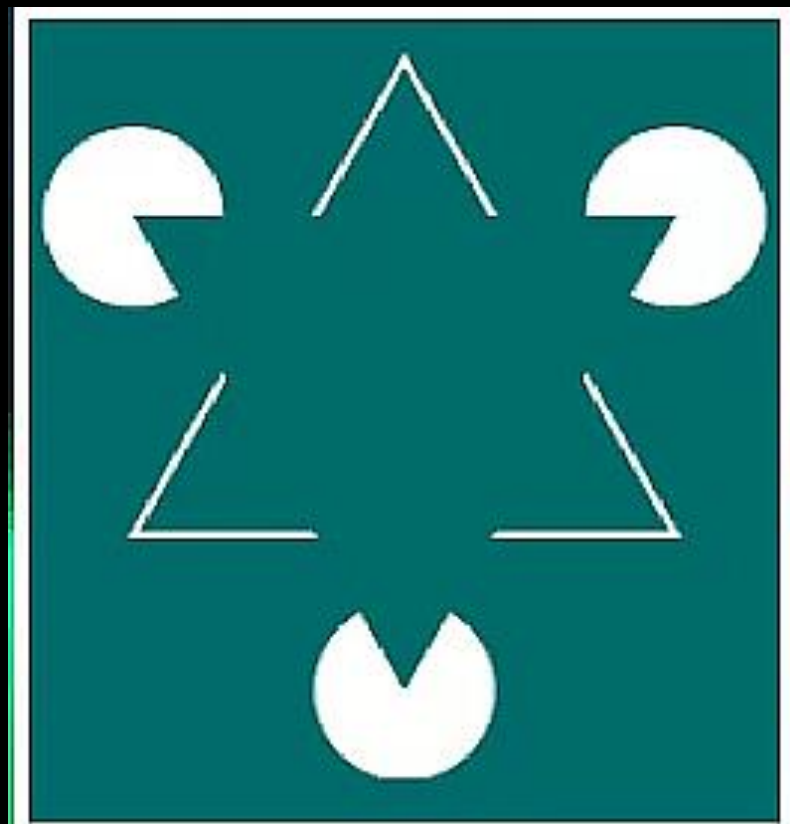


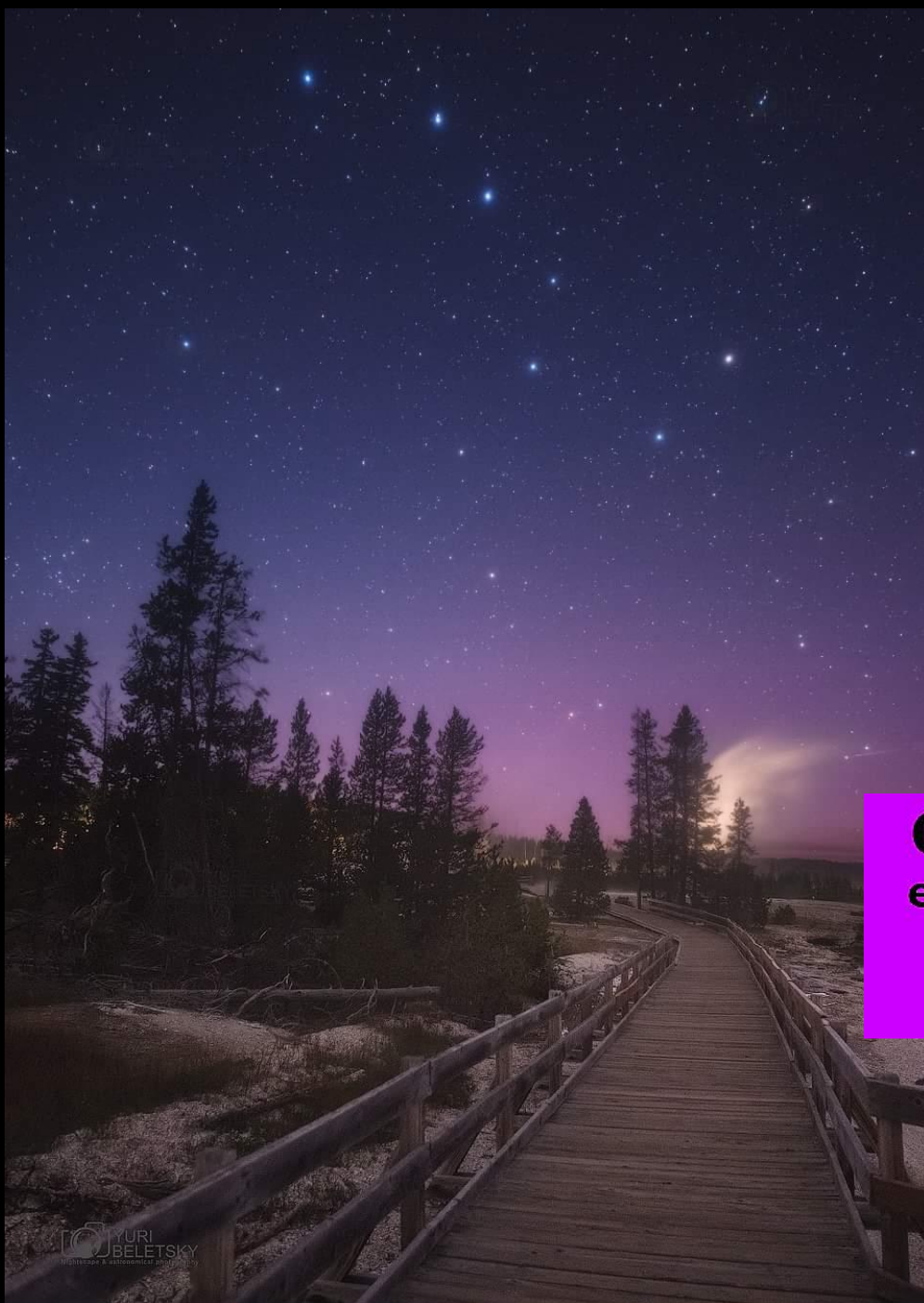


**CONTINUITA':** raggruppiamo  
gli oggetti che sono l'uno come  
continuazione dell'altro



**CHIUSURA:** raggruppiamo gli elementi in modo da formare una figura chiusa. Tendiamo a completare le parti mancanti



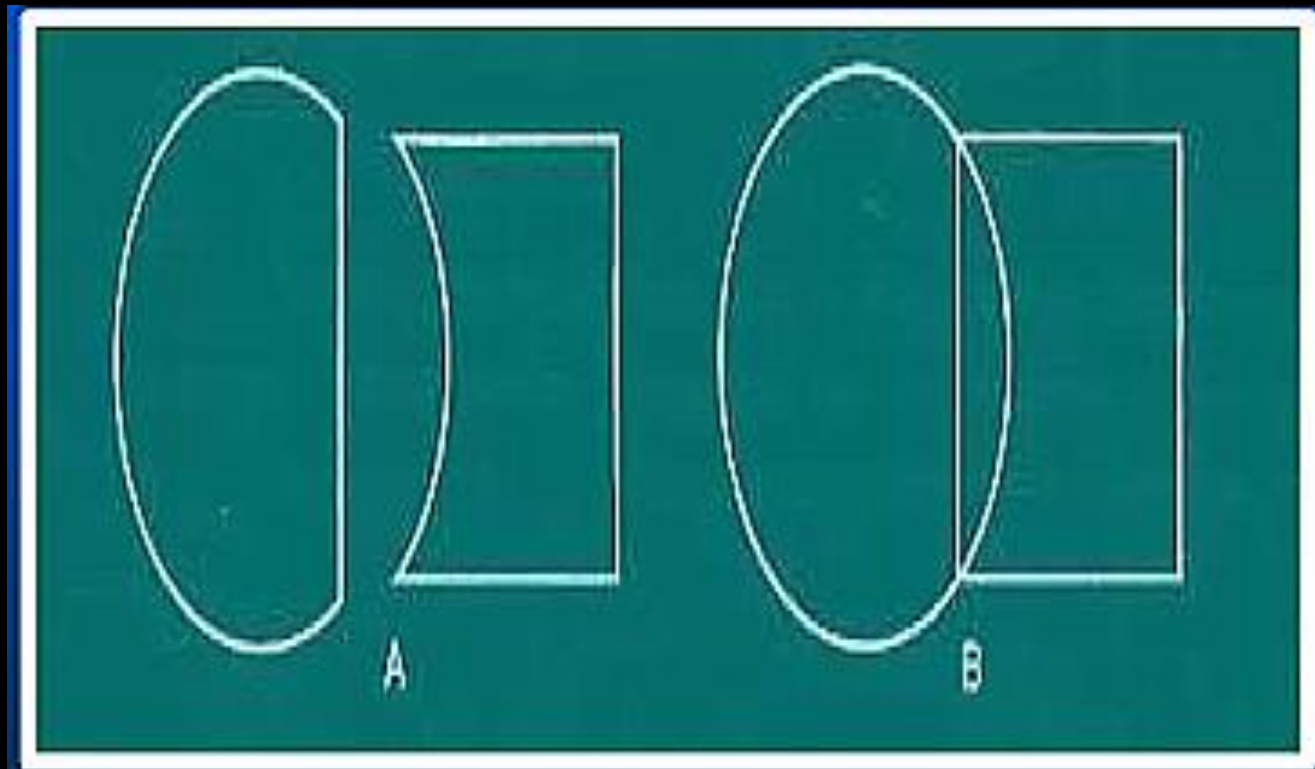


**CHIUSURA:** raggruppiamo gli elementi in modo da formare una figura chiusa. Tendiamo a completare le parti mancanti



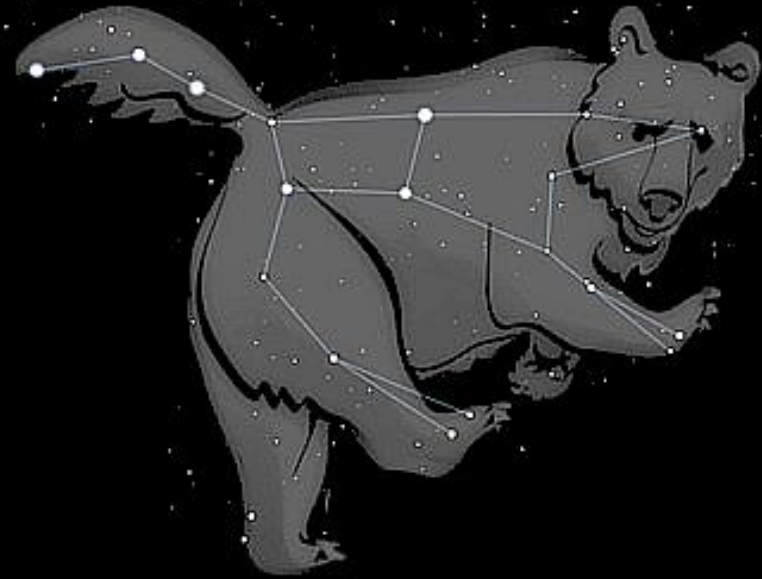
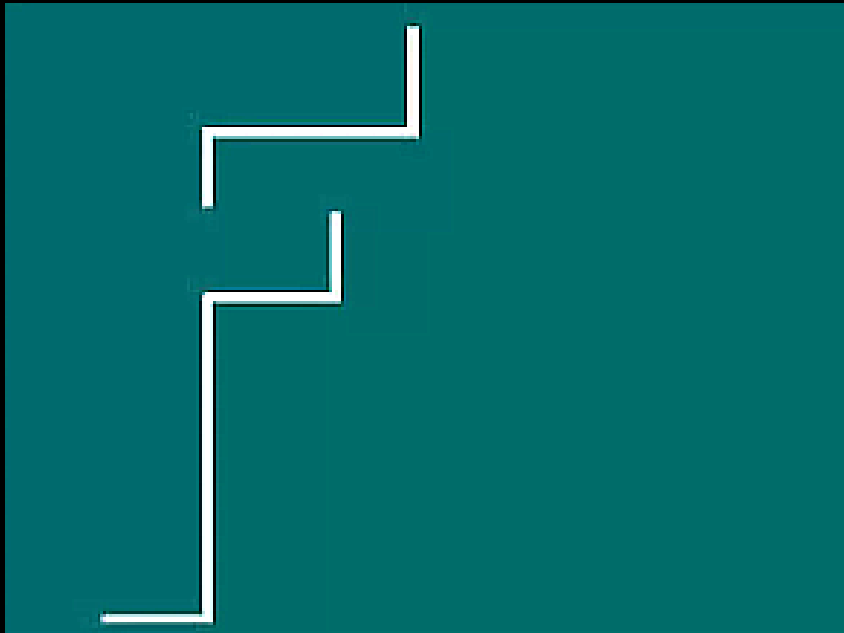
# **PREGNANZA O BUONA FORMA:**

**raggruppiamo gli elementi per  
ottenere una figura più semplice**



# ESPERIENZA PASSATA:

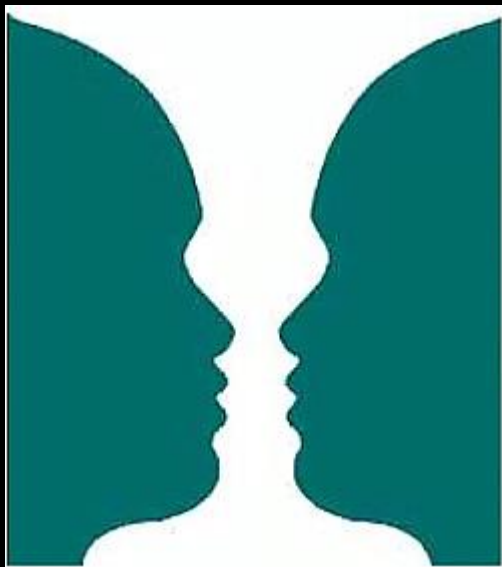
raggruppiamo gli elementi associati  
nella nostra esperienza precedente



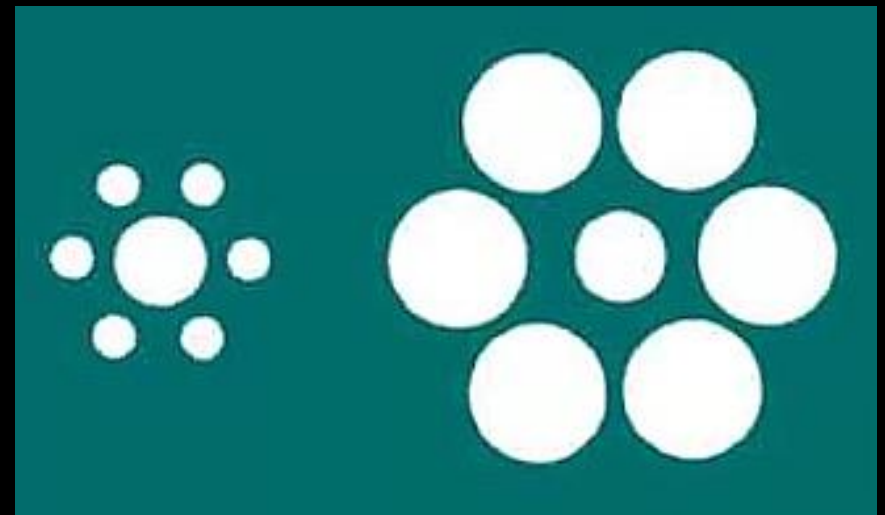
# RAPPORTO FIGURA-SFONDO

## LA FIGURA

**E' TUTTO CIO' CHE SI STACCA DA UNO SFONDO**  
è il contesto a determinare la percezione di un  
determinato oggetto

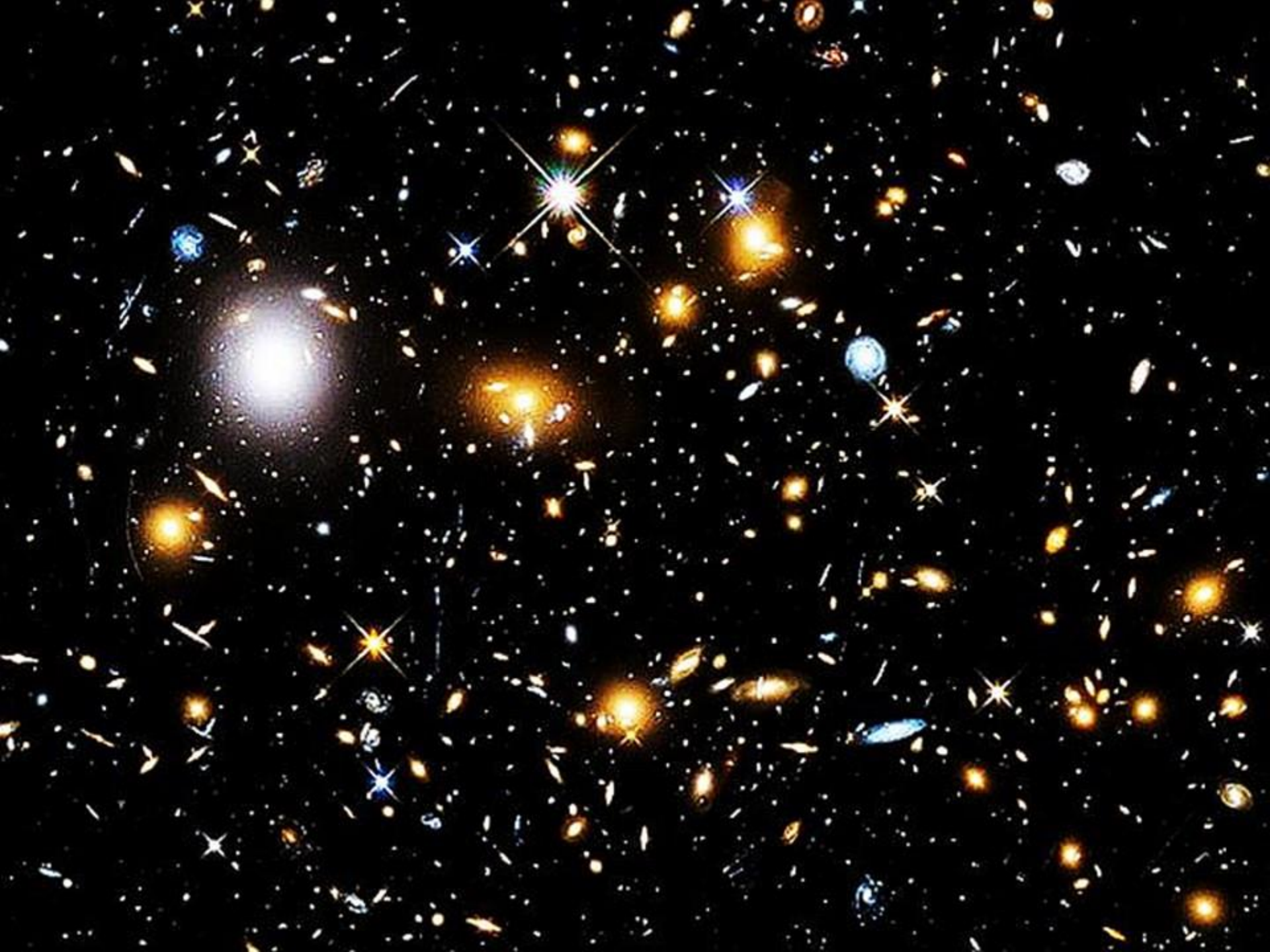


**PERCEZIONI FLUTTUANTI**



**ILLUSIONI PERCETTIVE**





# **LA PERCEZIONE DELLA PROFONDITA'**

**LA REALTA' CI RISULTA  
TRIDIMENSIONALE**

**E' IL CERVELLO CHE ANALIZZA LE IMMAGINI  
PERCEPITE DALLA RETINA DOVE SONO  
BIDIMENSIONALI**

**...e immagina una terza  
dimensione**

## DISPARITA' BINOCULARE

I NOSTRI OCCHI SONO POSTI AD UNA CERTA  
DISTANZA L'UNO DALL'ALTRO  
E' IL CERVELLO CHE ELABORA LE INFORMAZIONI

## CONVERGENZA BINOCULARE

I NOSTRI OCCHI COMPIONO UNA ROTAZIONE  
VERSO L'INTERNO PIU'N RUOTANO E PIU'  
L'OGGETTO E' VICINO

... e viene interpretata come  
la distanza dell'oggetto



# **LA COSTANZA PERCETTIVA**

**TENDIAMO A MANTENERE  
INALTERATA LA PERCEZIONE  
DI UN OGGETTO BASANDOCI  
SULLA NOSTRA  
ESPERIENZA**

La distanza viene  
percepita utilizzando le  
dimensioni angolari degli  
oggetti...

Piccolo = distante  
Grande = vicino



...non è strettamente vero...

# LE PERCEZIONI SUBLIMINARI

**PERCEZIONI CHE NON  
GIUNGONO ALLA SOGLIA DELLA  
CONSAPEVOLEZZA**

**SI PRESENTANO QUANDO UNO  
STIMOLO SENSORIALE  
COMPARE PER UN TEMPO  
RIDOTTO E RISULTA  
*"MASCHERATO"***



# LA COSCIENZA

- ❖ In termini psicologici la coscienza è intesa come **consapevolezza di se stessi e del mondo oggettivo**, cioè come esperienza psichica attuale che include la totalità dei fenomeni psichici vissuti in un dato momento
- ❖ La coscienza si configura come **attività integrativa** che organizza informazioni provenienti sia direttamente dai dati esperienziali attuali, sia dai dati mnesici di passate esperienze, al fine di usarle correttamente per formulare valutazioni immediate e future sulla realtà, per riconoscerla e orientarsi adeguatamente dentro di essa

Si, ma...

La Realtà esiste in  
termini oggettivi?

La Realtà non è quello  
che percepiamo...

...non esiste Realtà assoluta

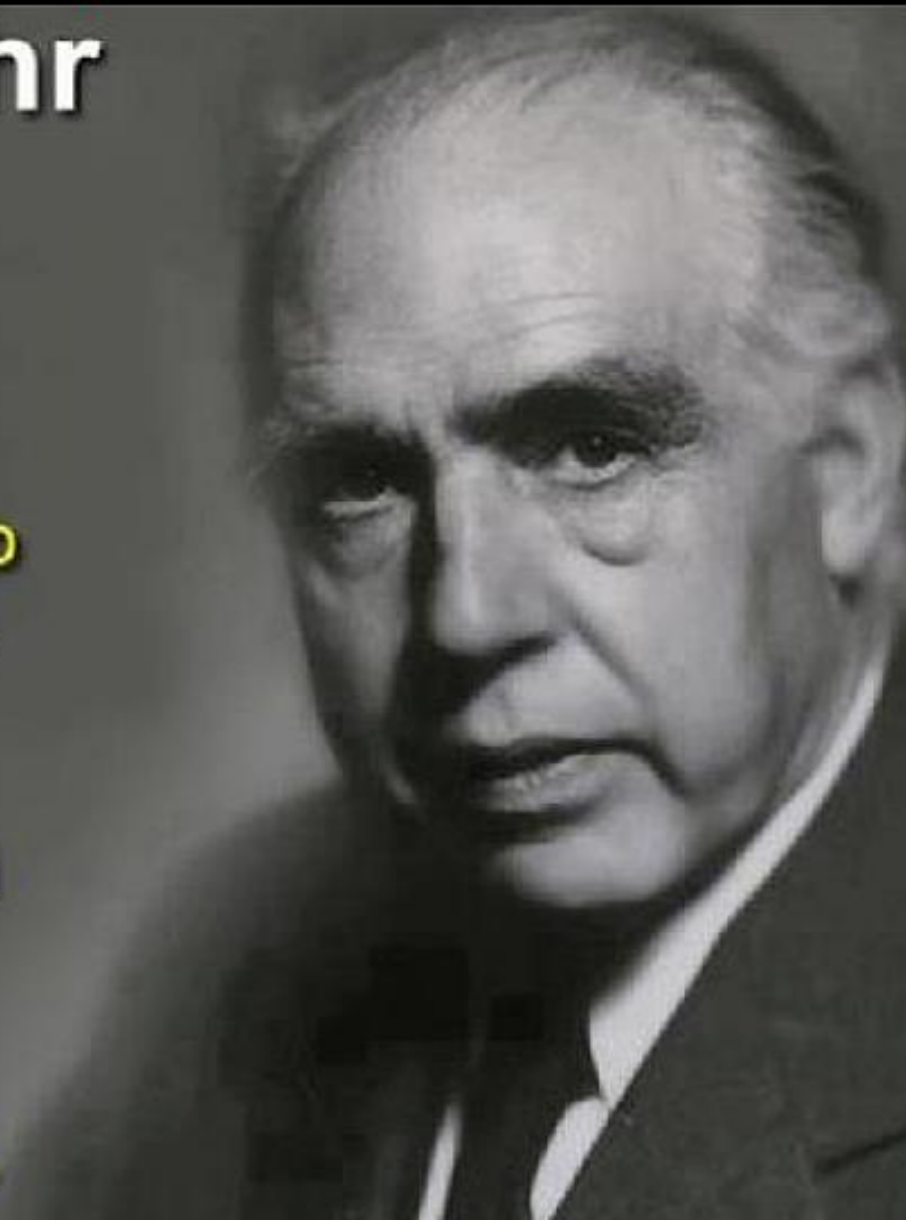
# Realtà quantistica

## Niels Bohr

7/10/1885 - 18/11/1962

“Tutto ciò che chiamiamo reale è fatto di cose che non possiamo considerare reali.

Se la meccanica quantistica non ti ha provocato un forte shock significa che non l'hai capita bene”



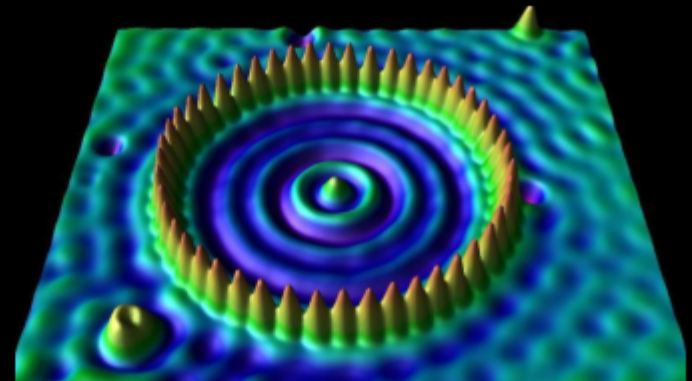




# Realismo

Il realismo è una corrente filosofica, implicitamente accettata dalla quasi totalità nella nostra civiltà, che ritiene che la natura esista indipendentemente dal nostro pensiero, conoscenza o osservazione. In particolare il realismo scientifico è la visione generalmente condivisa che la conoscenza scientifica sia rigorosa, oggettiva e trovi corrispondenza con la realtà tramite esperimenti e che la scienza ci dia informazioni sulle cose che esistono, non solo sugli oggetti macroscopici, ma anche su oggetti che non percepiamo direttamente ma compaiono nelle teorie come atomi, elettroni...

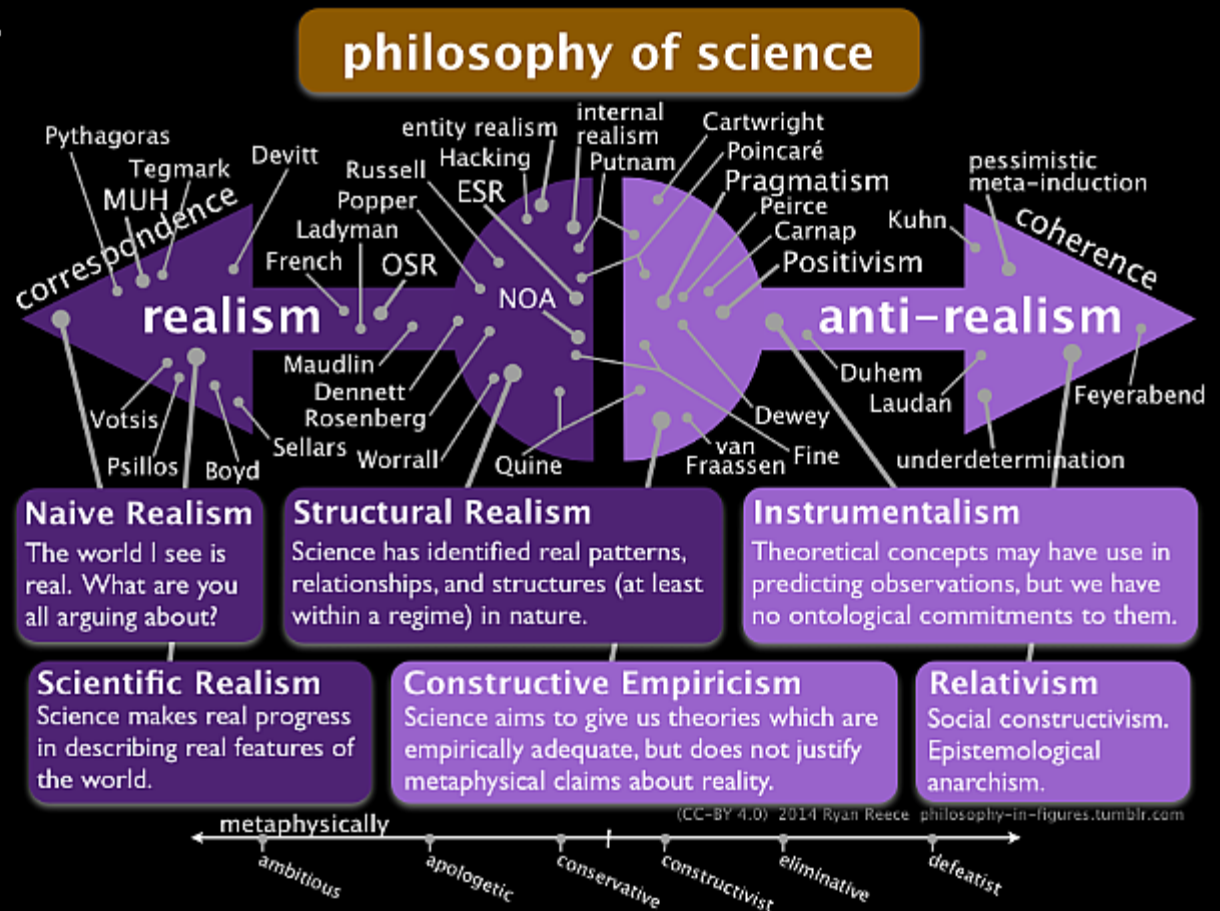
Immagine di atomi di ferro (gialli) su superficie di rame di cui vediamo la densità di carica (blu) tramite microscopio a effetto tunnel STM



All'opposto l'antirealismo scientifico o strumentalismo è la corrente filosofica che ritiene che le teorie scientifiche siano solo strumenti per predire i fenomeni e non per descrivere il mondo così come veramente è.

Come vedremo i filosofi che discutono sulla realtà hanno ben ragione di aver

interesse per la fisica quantistica!..



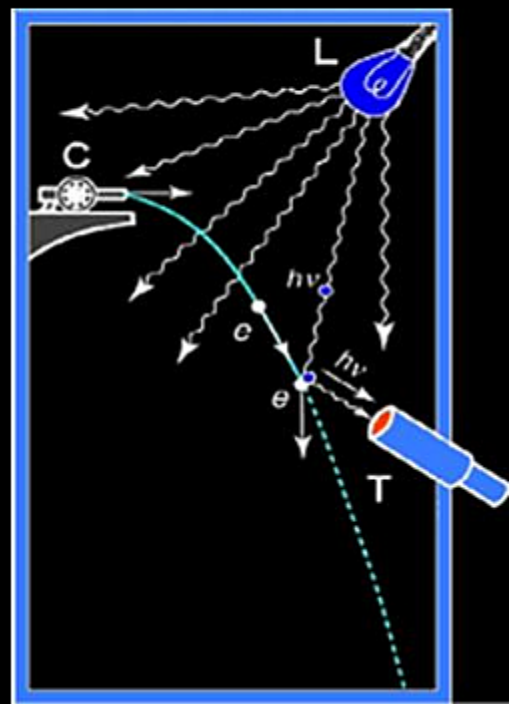


# Controfattualità

Una interpretazione realista della fisica classica è compatibile con la proprietà di controfattualità: se  $P$  è una proposizione su un sistema fisico e se una misura che non disturba il sistema ha dimostrato  $P$  vera, allora  $P$  sarebbe stata vera anche se la misura non fosse stata eseguita (“la luna avrebbe la stessa posizione anche se non fosse osservata, visto che l’osservazione non ne disturba la posizione”)



però il processo di misura discusso comporta un disturbo che blocca eventuali contraddizioni che comporterebbe la controfattualità' (se una misura che **non disturba il sistema** ha dimostrato la verità di una affermazione sul sistema, allora tale affermazione sarebbe stata vera anche se la misura non fosse stata eseguita ).



# Il principio di realta'

Vogliamo ora discutere la compatibilita' di due principi base di una visione realista della fisica, principio di realta' e principio di localita', prima applicandoli alla fisica classica, poi a quella quantistica.

Principio di realta' (R) : se senza intervenire su un sistema fisico e' possibile prevedere con certezza il valore di una sua grandezza fisica (se venisse misurata), allora tale valore e' una proprieta' oggettiva del sistema indipendente da osservatori esterni. Possiamo considerare questo principio come un esempio di versione "fisica" di controfattualita' e in fisica quantistica e' applicabile solo se la funzione d'onda  $\Psi$  e' concentrata attorno a un valore





# Il principio di localita'

La Relativita' (con la sua verifica sperimentale) assicura che nessuna informazione viaggia a velocita' maggiori della velocita' della luce. E' naturale quindi in un approccio realista alla fisica formulare il:

Principio di Localita' Einsteiniana (L): se durante un intervallo di tempo due sistemi sono a distanze maggiori di quelle percorribili dalla luce in tale intervallo di tempo (distanze di tipo spazio), allora durante quell'intervallo le proprieta' fisiche di uno di essi non possono essere influenzate da operazioni eseguite sull'altro

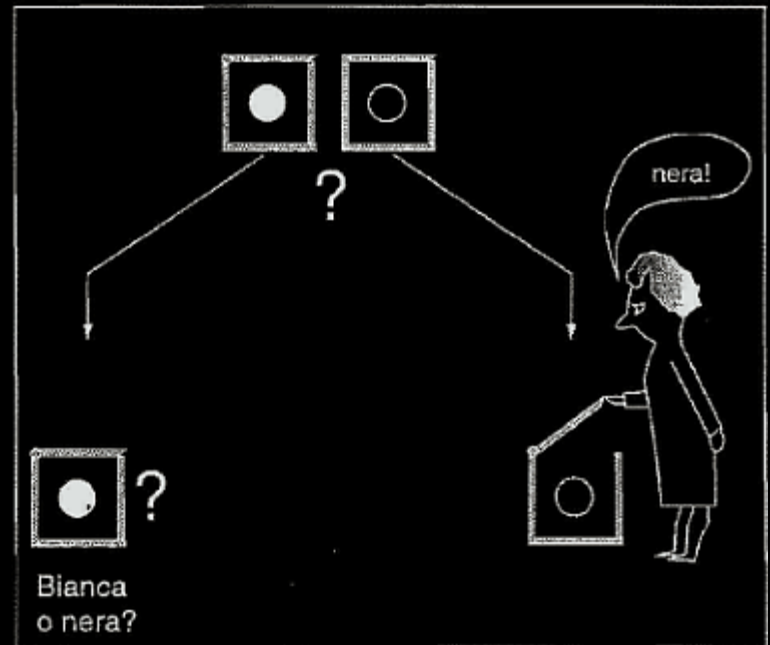


A e C sono a distanza di tipo spazio

# Realtà' e localita' in fisica classica

Consideriamo un insieme di coppie di palle (classiche) che si muovono una verso destra (palle A) e l'altra verso sinistra (palle B), di cui sappiamo solo che una e' bianca e una nera, ma non sappiamo quale, e la distribuzione dei due colori e' casuale. Quando una palla

A e' a distanza di tipo spazio dalla corrispondente palla B osserviamo il colore della palla A. Per induzione allora sappiamo il colore della palla B con certezza anche senza osservarlo.



## R+L, Compatibilita' classica

Per il principio di realta' il colore delle palle B e' una proprieta' oggettiva, e per il principio di localita' questa proprieta' preesisteva alla misura almeno finche' la distanza tra le palle A e B era di tipo spazio. L'insieme di B e' costituito circa di meta' di palle bianche e di meta' di nere, l'unica differenza tra prima e dopo la osservazione delle palle A e' che prima non sapevamo quali delle coppie avevano la nera (o la bianca) a destra e dopo la misura si'. La nostra informazione si e' dunque accresciuta con la osservazione, ma compatibilmente a una "realta' preesistente". Non emerge dunque nessuna contraddizione: realta' e localita' sono compatibili con la fisica classica

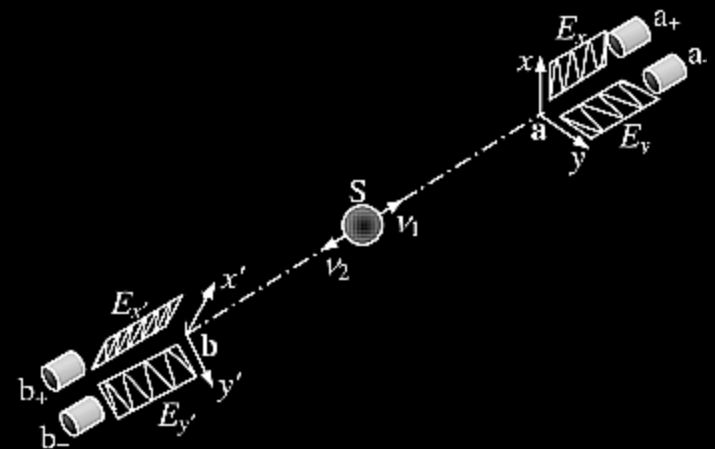


# Realtà e località in fisica quantistica: EPR

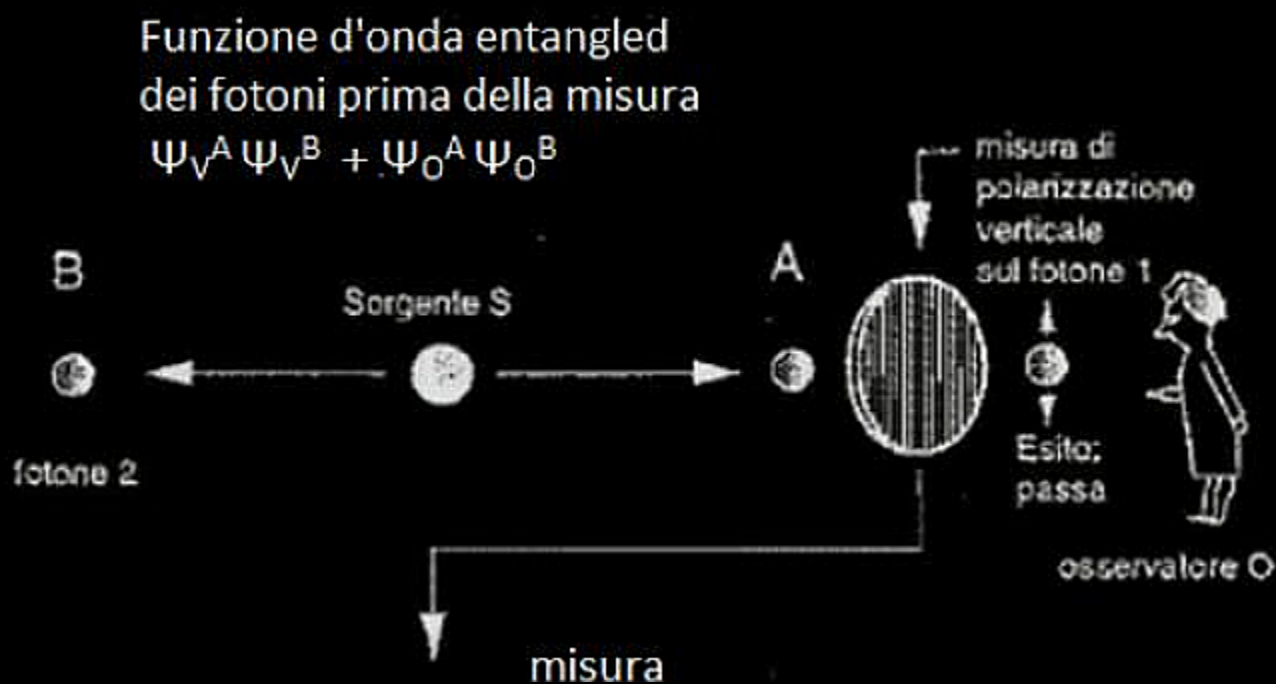
Il cosiddetto paradosso EPR (Einstein-Podolski-Rosen 1935) è basato su un analogo quantistico dell'esperienza classica discussa precedentemente, con una funzione d'onda entangled per la polarizzazione (analogo del colore) di due fotoni (analogo delle palle)

Una sorgente  $S$  emette coppie di fotoni con polarizzazioni entangled ( $\Psi_V^A \Psi_V^B + \Psi_O^A \Psi_O^B$ ) con  $A$  che si muove verso sinistra e  $B$  verso destra.

Quando i fotoni  $A$  e  $B$  sono a distanze di tipo spazio i fotoni  $A$  passano attraverso un polarizzatore verticale.



Circa la metà' passa e dopo la misura la funzione d'onda dei due fotoni diventa  $\Psi_V^A \Psi_V^B$  perché siamo certi che i fotoni in A hanno polarizzazione V, quindi non possono averla O, ma essendo la funzione d'onda originaria entangled, se il fotone A "ha" polarizzazione V allora il fotone B "ha" polarizzazione V. Circa metà dei fotoni non passa e per lo stesso ragionamento la funzione d'onda diventa  $\Psi_O^A \Psi_O^B$ .



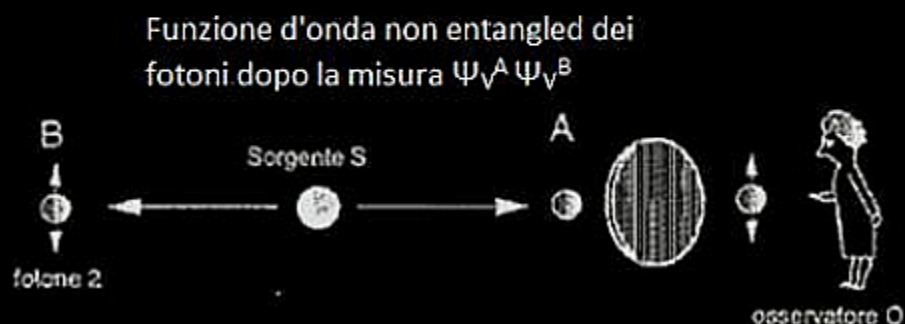
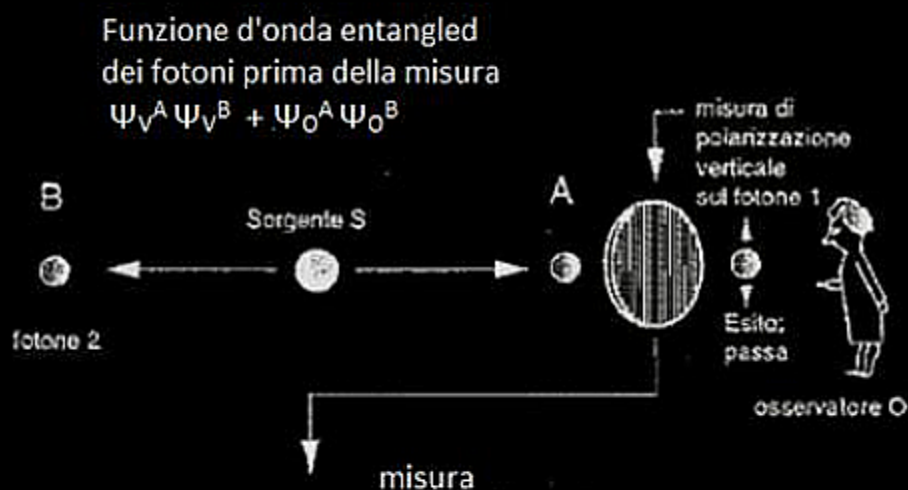
Ma per i fotoni B di  $\Psi_V^A \Psi_V^B$  siamo certi che hanno polarizzazione verticale V (se misurata) e per i fotoni B di  $\Psi_O^A \Psi_O^B$  siamo certi che hanno polarizzazione orizzontale O (se misurata), ma non abbiamo eseguito la misura sui fotoni B!

La polarizzazione dei fotoni B non è stata misurata (non c'è stato disturbo in B) e

quindi la polarizzazio-

ne dei fotoni B è per il principio di realtà una proprietà

oggettiva e per località preesisteva alla misura finché A e B erano a distanze di tipo spazio.





## R+L, Incompatibilita' quantistica

Ma la funzione d'onda di tutte le coppie prima della misura era  $\psi_V^A \psi_V^B + \psi_O^A \psi_O^B$  e non per meta' delle coppie  $\psi_V^A \psi_V^B$  e per meta'  $\psi_O^A \psi_O^B$ , le due descrizioni danno luogo a effetti fisici diversi e sono quindi diverse.

Se la descrizione in termini di funzioni d'onda è la più completa possibile emerge dunque una contraddizione: se assumiamo R+L, prima della misura a distanze di tipo spazio tra A e B, avevamo due descrizioni contraddittorie. Realta' e localita' sono quindi incompatibili con la fisica quantistica.

Per risolvere il paradosso EPR ci sono dunque a priori 3 strade:

## Le 3 alternative : no R

Rinunciamo al principio di realtà dichiarando che anche se so con certezza il valore di un grandezza fisica senza disturbare il sistema, ad esso non posso attribuire un carattere oggettivo indipendente dalla misura. Non posso in particolare estrapolare l'informazione all'indietro nel tempo prima della misura che ha consentito di ottenere il valore anche se conosco la dinamica del sistema osservato.

Sosteniamo che la funzione d'onda  $\Psi$  non è una proprietà del sistema fisico indipendente dall'osservatore, ma sintetizza un insieme massimale di informazioni su di esso.

## Le 3 alternative : no R

La fisica quantistica e' un paradigma che consente di conoscere l'evoluzione dell'informazione e predizioni sui risultati di misure (Strumentalismo per  $\Psi$ ). Il principio di localita' (riduzionismo) e' salvato in EPR dal fatto che le osservazioni modificano le nostre conoscenze sui sistemi, non le loro proprieta' oggettive. Ma modificando la nostra conoscenza, diversamente dal caso classico, le loro proprieta' potenziali cambiano...



# No L

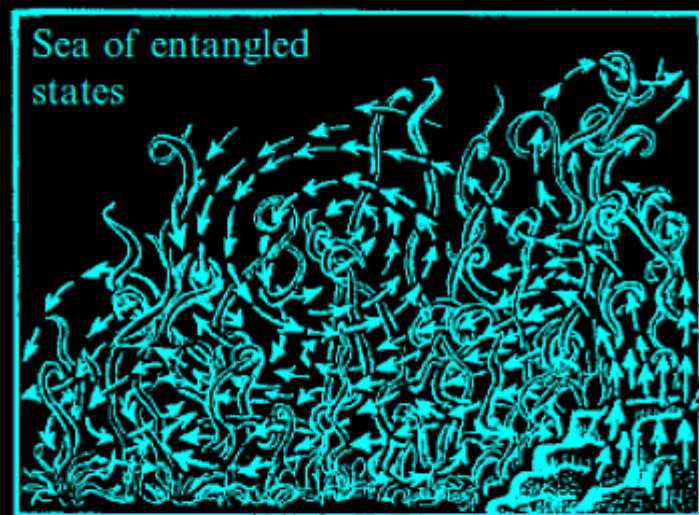
- Si dà una interpretazione realista della funzione d'onda, come descrivente le proprietà del sistema, accettando però la possibilità di una modifica istantanea delle proprietà. Ma si dimostra che usando tali modifiche non si possono trasmettere comunque informazioni a velocità maggiore della velocità della luce, quindi (in visione strumentalista) la relatività non è violata.

Non si può dunque prolungare all'indietro nel tempo l'informazione neppure se i sistemi sono a distanze di tipo spazio, perché eventuali modifiche della funzione d'onda avvengono istantaneamente.

## No L

Con la rinuncia alla localita' un sistema composto e' pensato come un tutt'uno indivisibile. Il realismo e' mantenuto a prezzo della rinuncia al riduzionismo (che sostiene che un sistema e' la somma dei suoi costituenti).

Nella versione ortodossa il mondo diventa descritto da una foresta inestricabile di funzioni d'onda entangled.



Un micro-oggettivismo dei sistemi e' insostenibile. Rimane la speranza di un macro-oggettivismo almeno per la materia nel suo stato normale (se e' superfluida ci sono gia' esperimenti che lo mettono in dubbio...)

## No C

Rinunciamo alla “completezza” (o massimalità) della descrizione fornita dalla MQ. Il fatto che dopo la misura di polarizzazione dei fotoni A i fotoni B “hanno” individualmente alcuni polarizzazione V altri O, senza che siano stati disturbati, può far supporre che tale proprietà l'avessero anche prima della misura (un po' come le palle classiche), solo che la funzione d'onda entangled, che è la stessa per tutte le coppie di fotoni prima della misura, non aveva questa informazione. La descrizione in termini di funzioni d'onda non ha quindi in genere la informazione massimale, ma dà solo informazioni probabilistiche come media di “variabili nascoste” che sarebbero le vere “proprietà reali” (un po' come in meccanica statistica l'energia media delle particelle “reali” riproduce la Temperatura termodinamica)



# No C? Il teorema di Bell

- Il principio di realta' e di localita' sembrano cosi' naturali che la prima tentazione (almeno per un realista) e' quella di prendere l'opzione 3) e rinunciare alla "completezza".
- Questa scelta pero' e' messa in crisi dal teorema di Bell (1964) che dimostra che se volessimo vedere la MQ come una media su variabili nascoste locali, allora le correlazioni tra le polarizzazioni di due fotoni entangled in varie direzioni definite tramite la media di variabili nascoste, soddisfano una diseguaglianza che e' violata dalle predizioni della MQ.

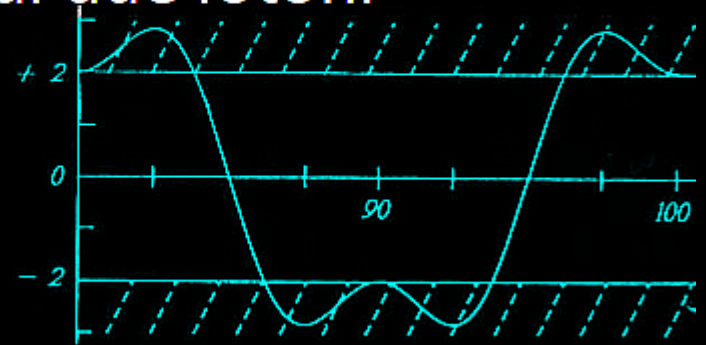


Fig. 5.  $S(\theta)$  come previsto dalla meccanica quantistica per coppie nello stato (1). Il conflitto nasce nella zona tratteggiata.

# No C solo se no L

- Gli esperimenti hanno poi verificato con grande precisione le predizioni della MQ, eliminando la possibilità di un completamento realistico locale della MQ e lasciando solo le opzioni no R e no L come soluzione del paradosso EPR.
- Si dimostra che in un completamento non locale della MQ (Bohm) necessariamente le “variabili nascoste” (le  $x$ ) devono rimanere sconosciute anche in linea di principio altrimenti sarebbe possibile mandare segnali a velocità maggiore di  $c$ , violando la relatività (inaccettabilmente) anche in senso strumentalista.

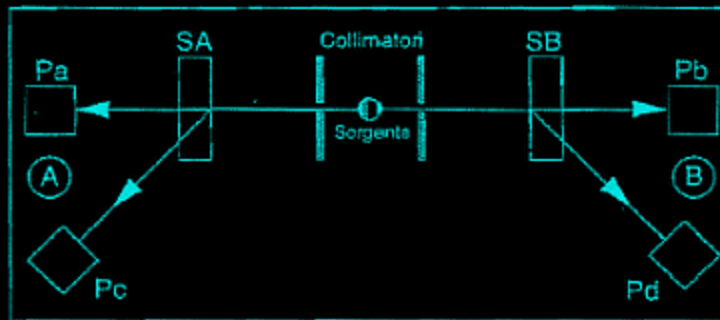
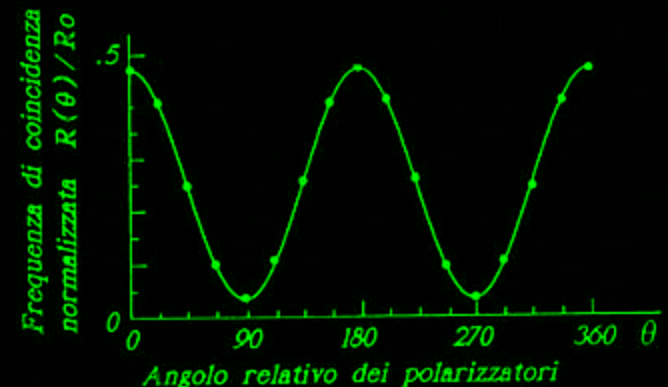
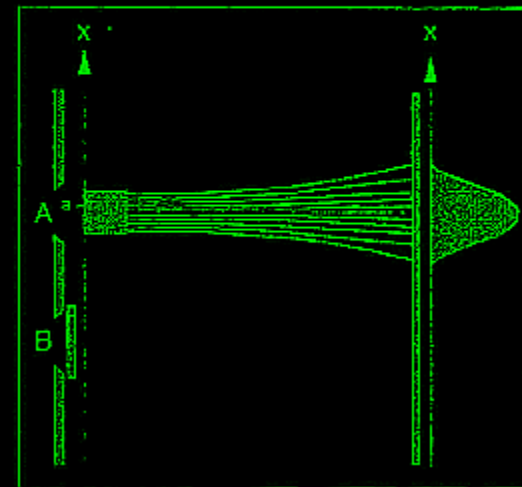
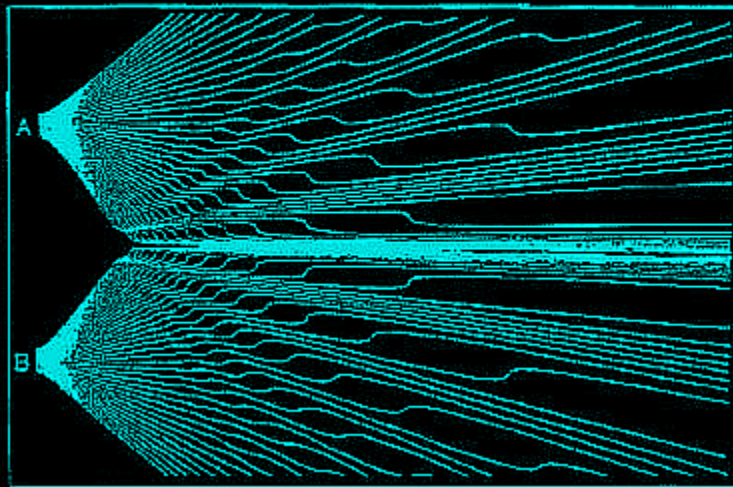


Fig. 10.3. L'esperimento di Aspect e collaboratori che rappresenta la più convincente prova sperimentale della nonlocalità quantistica.



# No L No C : Bohm

- Un esempio non ortodosso di questa interpretazione e' fornito dal formalismo di Bohm (equivalente a MQ, ma solo non relativistica). E' realista, ha traiettorie ma e' contestuale, cioe' le traiettorie dipendono anche dalla disposizione sperimentale .



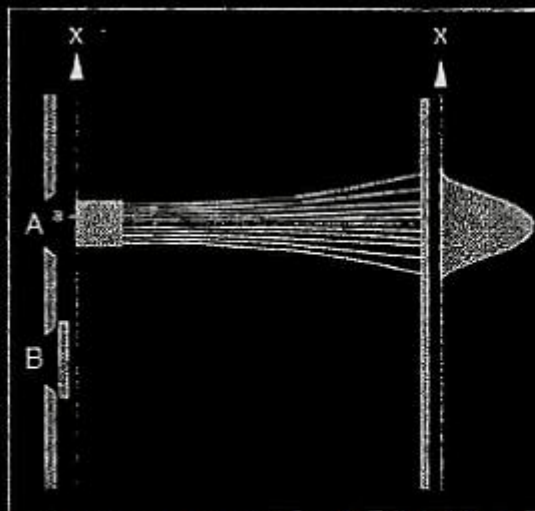
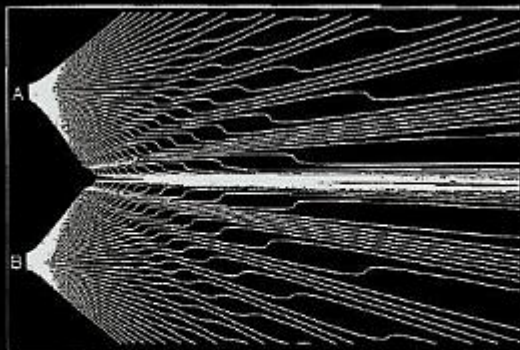
## Una versione realista della MQ: Bohm

- In essa gli stati sono nuovamente descritti da posizione e velocità ( $v=p/m$ ), ma per non violare la causalità il loro valore è sconosciuto a priori, è possibile solo una loro conoscenza probabilistica.
- In tale formalismo le variabili nascoste sono le posizioni della particella  $x$  nella funzione d'onda  $\psi(x)$ . Per avere una descrizione "deterministica" delle traiettorie occorre definire anche la velocità, che è ottenuta da una equazione della forma  $v(t)=F(\psi(x,t))$
- E' non-locale nelle  $x$ : una modifica dell'apparato di misura si riflette istantaneamente sulle traiettorie



B aperta

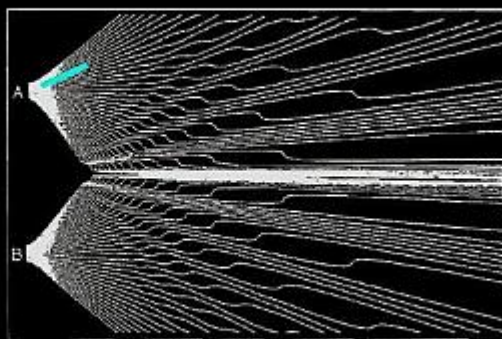
↑  
x  
→ y



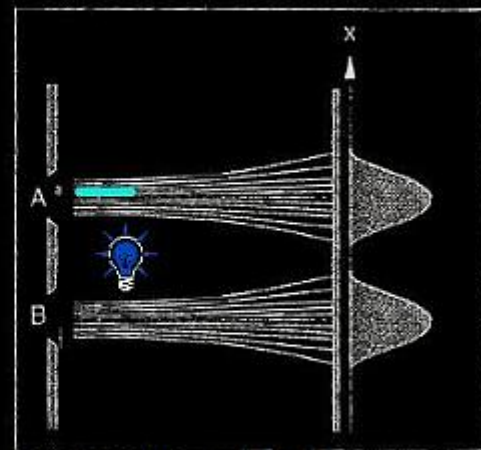
B chiusa

Ma, peggio, per altre variabili come la velocità  $v$ , è contestuale, cioè il valore di  $v_y$  e.g. dipende da quale altra quantità osservabile compatibile con  $v$  (cioè che non ne disturba la misura) decidiamo di misurare...

$v_x, v_y$



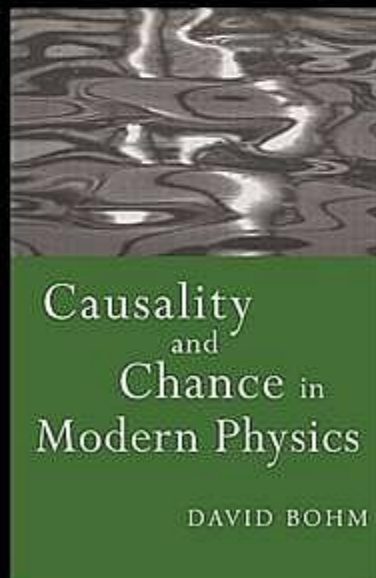
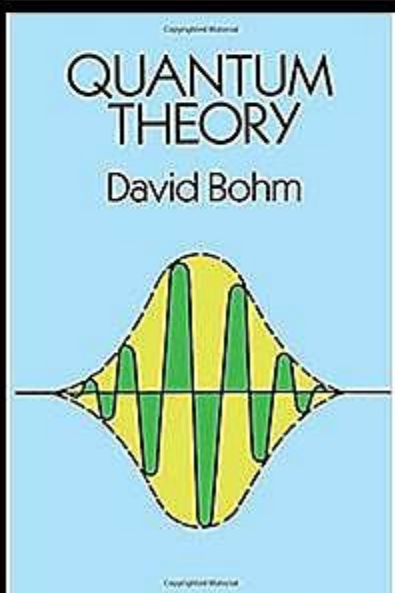
$x, v_y$



Il prezzo per un realismo deterministico è la contestualità...

# Fenomeni Naturali

Ogni fenomeno naturale è una percezione della variazione locale del **Campo Informativo** che pervade tutto l'Universo



**Il campo informativo contiene due livelli di Ordine:**

**Ordine Esplicito**

**Ordine Implicito**

**Teoria delle Variabili Nascoste**  
**(metafora del mazzo di carte)**



## Ordine Esplicito

*...si riferisce ai fenomeni che noi possiamo osservare. E' l'ordine manifesto della nostra realtà che noi sperimentiamo quotidianamente E' una pura illusione...*



## **Ordine Implicato**

*...è quello che pilota la realtà che osserviamo.  
Si riferisce alla "Realtà vera e assoluta" che è  
generata dall'interazione dell'informazione  
presente nell'Universo.*

*L'Ordine Implicato stabilisce che ogni regione  
locale, infinitamente piccola, dell'Universo  
contiene l'informazione completa su tutto  
l'Universo nella sua totalità.*

**Universo**

produce



**Ordine  
implicato**

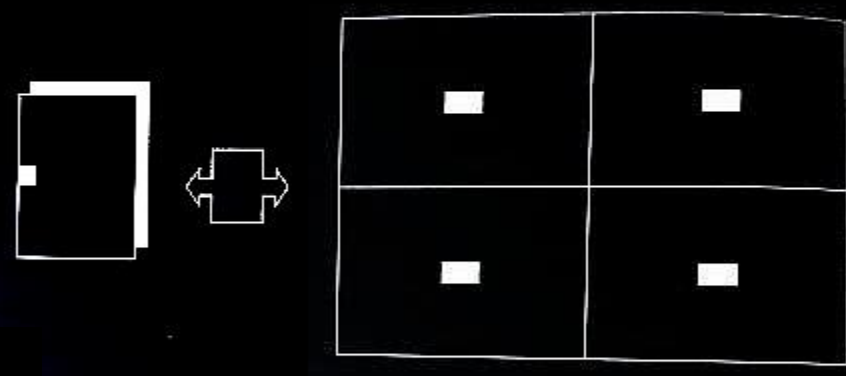
produce



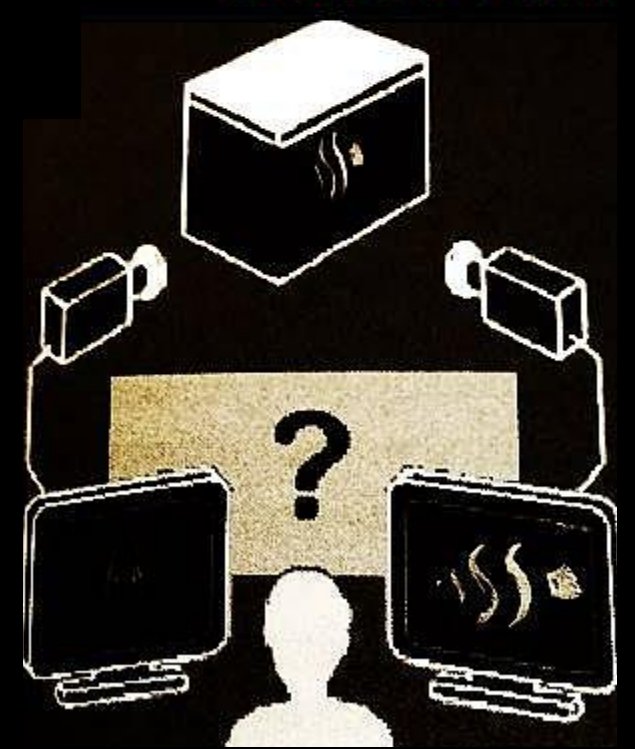
**Ordine  
Esplicito**

**Cosmologia**

**Fenomeni  
osservati**



*metafora del foglio ripiegato*



*metafora dell'acquario*

**Ordine  
implicitato**

produce



**Ordine  
Esplicitato**

Entropia implicata  
Informazione impl.  
Energia implicata

Entropia esplicitata  
Informazione espl.  
Energia esplicitata

Energia del Vuoto?

Energia Ordinaria?

Campo del punto Zero

Schiuma quantistica

---

Ontologia

Quello che è vero...

Epistemologia

Quello che sappiamo e come lo sappiamo...



Informazione  
relativa agli eventi  
futuri

$$\Delta I = \Delta N$$

Ordine Implicato

Sintropia

Ordine

Disordine

Ordine Esplicito

Entropia

Informazione  
proveniente dal  
Passato

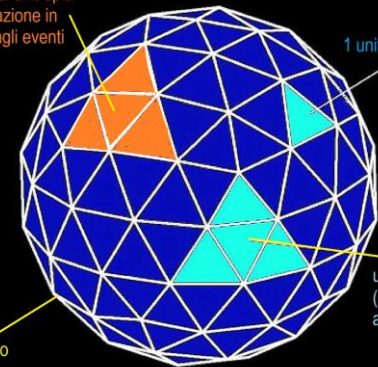
$$\Delta I = \Delta S$$

1 unità di sintropia  
(informazione in  
merito agli eventi  
futuri)

1 unità di Planck

Orizzonte degli  
eventi dell'Universo

una unità di Entropia  
(informazione in merito  
agli eventi passati)





# il principio di Brillouin

Brillouin (1964) ha enunciato il suo famoso principio:

$$\Delta I = \Delta S + C$$

$$\Delta I > 0$$

$$C \ll 1$$

dove:

$$C = K_B \cdot \ln(2)$$

$K_B$  = costante di Boltzmann

$$1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

$\Delta S$  = aumento di entropia

$\Delta I$  = informazione acquisita studiando un sistema

Leon Brillouin (Sèvres, 7 agosto 1899 – New York, 1969) è stato un fisico francese

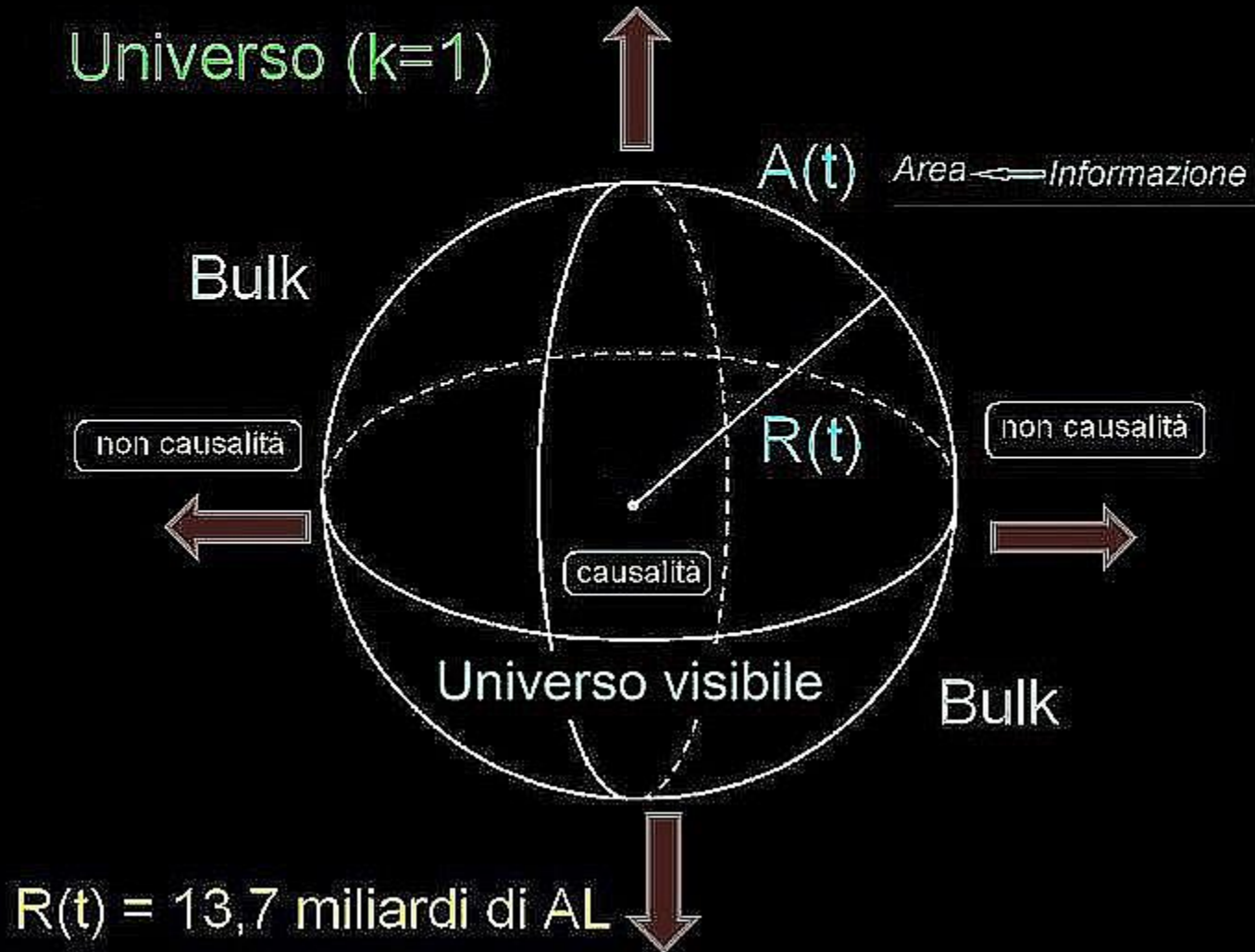


$$\Delta I = \Delta S$$

L'osservazione di un sistema fisico permette di guadagnare una quantità di informazione  $\Delta I$ , ma questo si paga con un aumento  $\Delta S$  di entropia del sistema.

...ma anche sull'Entropia dell'Universo.

# Il continuo aumento dell'Entropia dell'Universo a causa della sua espansione





# ...il trascorrere del tempo.

$$(t - t_0) = \frac{3.17 \times 10^8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h \cdot G}{2 \cdot k_B \cdot c^5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{S_u(t)}} \cdot \left[ S_u(t) - S_u(t_0) \right] \quad (\text{anni})$$

ma anche:

$$(t - t_0) = 3.17 \times 10^8 \cdot \left[ R(t) - R(t_0) \right] \quad (\text{anni})$$

dove:

$S_u(t)$  = Entropia dell'Universo al tempo  $t$

$S_u(t_0)$  = Entropia dell'Universo al tempo  $t_0$

$R(t)$  = Raggio dell'Universo visibile al tempo  $t$  (anni luce)

$R(t_0)$  = Raggio dell'Universo visibile al tempo  $t_0$  (anni luce)

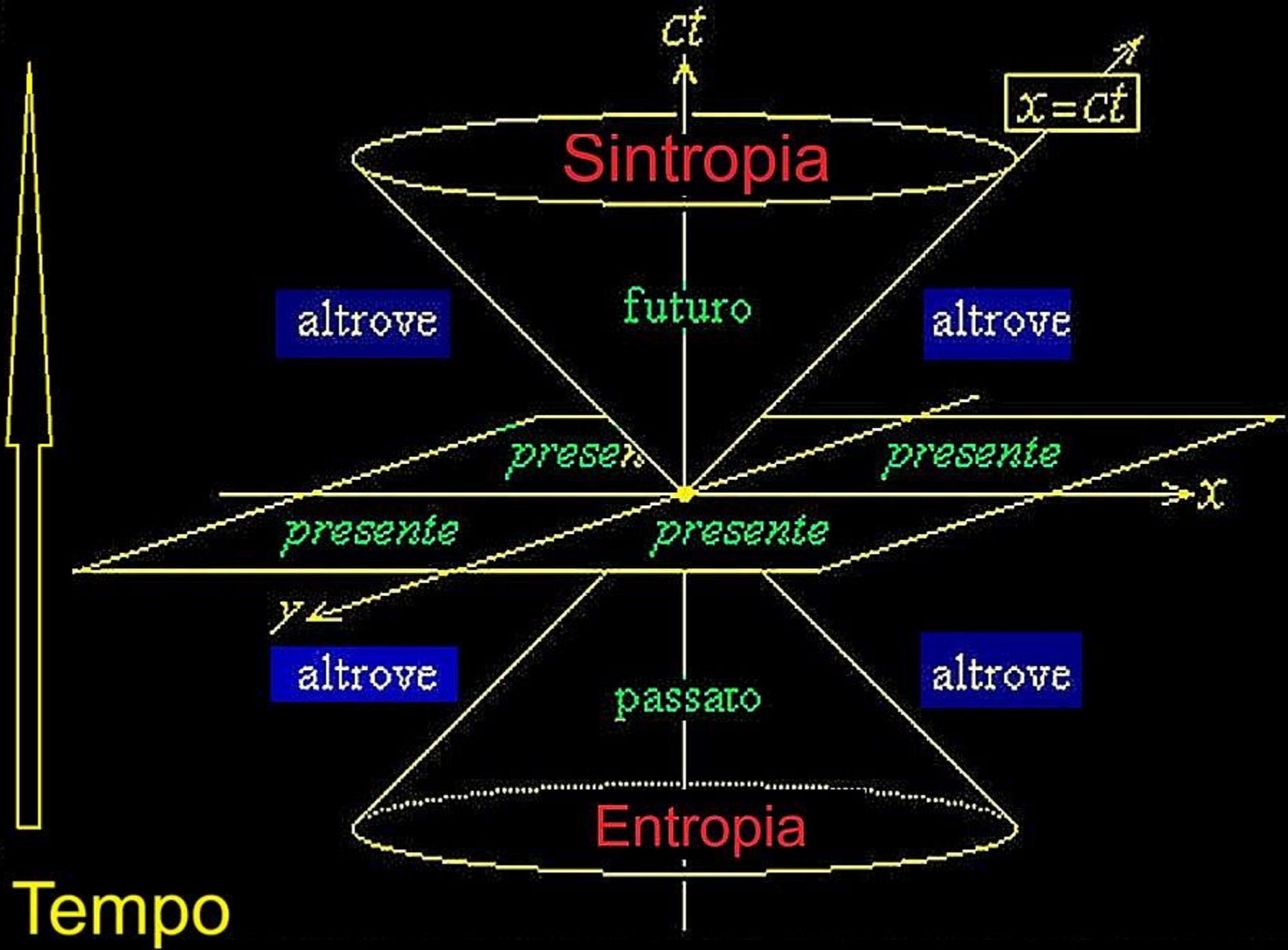
$h$  = costante di Plank  $6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34} \quad \text{J s}$

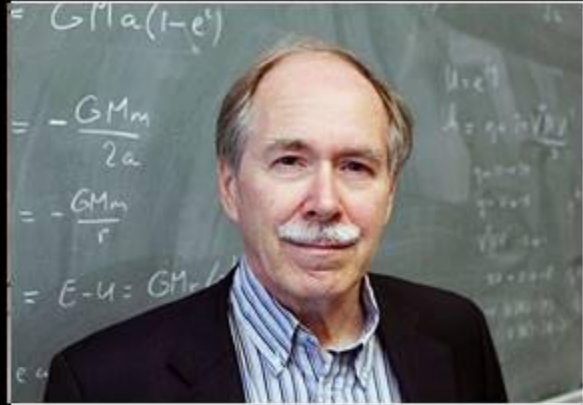
$G$  = costante di gravitazione universale  $6.674\,08(31) \times 10^{-11} \quad \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$

$K_B$  = costante di Boltzmann  $1.380\,648\,52(79) \times 10^{-23} \quad \text{J K}^{-1}$

$c$  = velocità della luce nel vuoto  $299\,792\,458 \quad \text{m s}^{-1}$







Gerardus (Gerard) 't Hooft



Leonard Susskind

**Nel 1993 Gerard 't Hooft e Leonard Susskind proposero il**

## **"Principio Olografico"**

**secondo il quale tutta l'informazione presente nell'Universo è immagazzinata nell'involuppo che lo racchiude (orizzonte cosmologico)**



# Il Principio Olografico

"L'informazione totalmente contenuta nell'Universo osservabile è un numero finito ed è data dalla superficie cosmologica divisa per la costante di Planck"

$$A(t) = 4 \cdot \pi \cdot R(t)^2$$

superficie cosmologica



$$I = 10^{122} \text{ bits}$$

valore massimo

$$\dot{R} \Rightarrow c$$

Universo  $\Rightarrow$  BH

$$R(t) = 13,7 \text{ Miliardi di anni luce}$$

$h =$  costante di Plank  $6.626\ 070\ 040(81) \times 10^{-34} \text{ J s}$

**Il Principio Olografico implica che le leggi fisiche non possono esistere in termini di perfette forme matematiche, ma sono soggette a variazioni dipendenti dal contenuto di Informazione dell'Universo.**

**...quindi:  $G$  e  $c$  potrebbero variare su tempi scala cosmologici**



## Unità di Planck: unità fondamentali

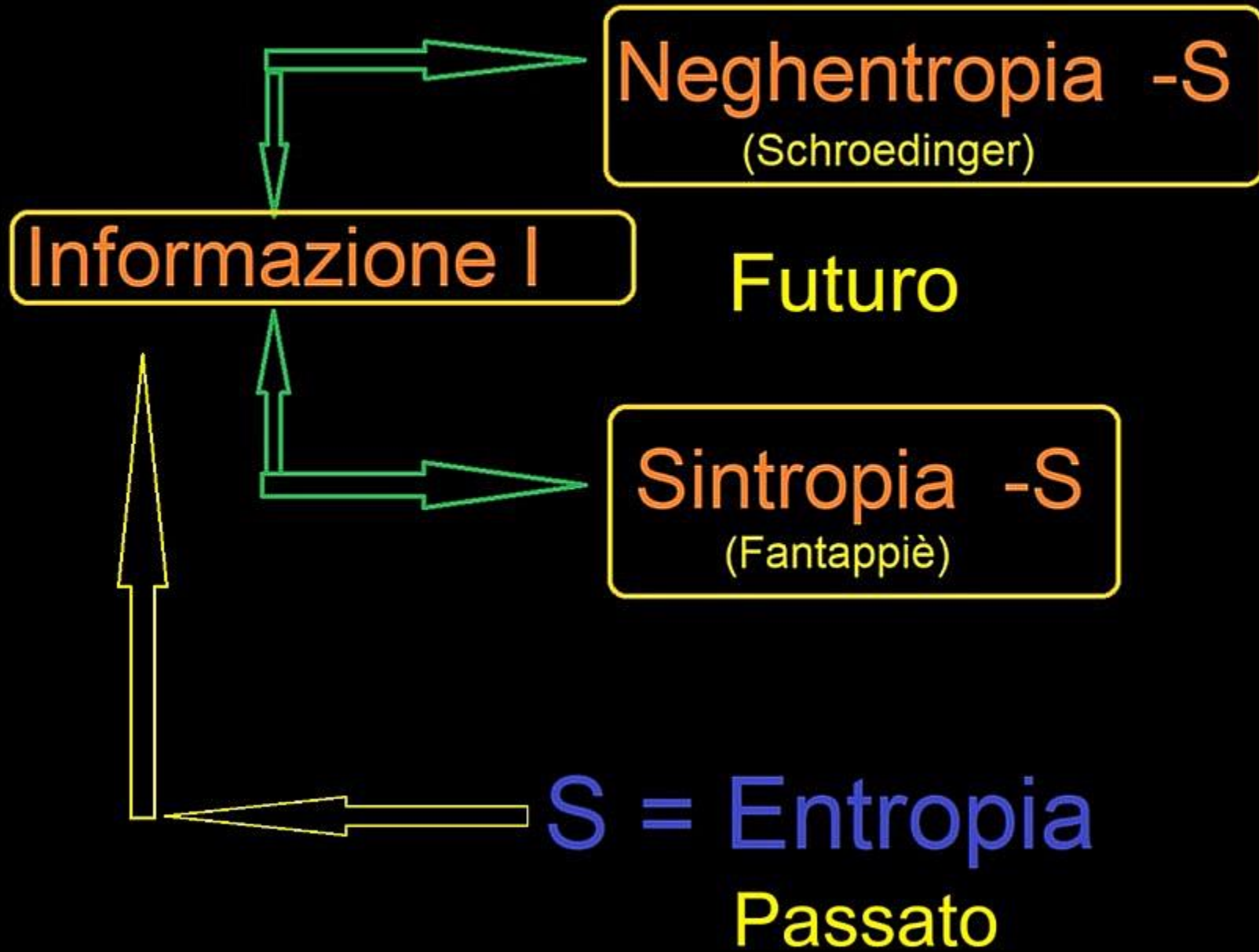
Dimensione	Formula		Valore nel Sistema Internazionale
Lunghezza di Planck	Lunghezza (L)	$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$	$1,616\ 252(81) \times 10^{-35}$ m
Massa di Planck	Massa (M)	$m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$	$2,176\ 44(11) \times 10^{-8}$ kg
Tempo di Planck	Tempo (T)	$t_p = \frac{l_p}{c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$	$5,391\ 24(27) \times 10^{-44}$ s
Temperatura di Planck	Temperatura ( $\Theta$ )	$T_p = \frac{m_p c^2}{k_B} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k_B^2}}$	$1,416\ 785(71) \times 10^{32}$ K
Carica di Planck	Carica elettrica (Q)	$q_p = \sqrt{4\pi\epsilon_0 \hbar c}$	$1,875\ 545\ 870 \times 10^{-18}$ C

Le tre costanti della fisica sono espresse in questo modo semplicemente, mediante l'uso delle unità fondamentali di Planck:

$$c = \frac{l_p}{t_p}$$

$$\hbar = \frac{m_p l_p^2}{t_p}$$

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2}$$



**Entropia** ← Informazione derivante  
dagli eventi passati

**Sintropia** ← Informazione intorno  
agli eventi futuri

L'informazione è già tutta codificata  
nell'orizzonte esterno dell'Universo

# Codifica dell'informazione

Presente =  $F(\text{Passato}, \text{Futuro})$

Stato Presente =  $G(\text{Entropia}, \text{Sintropia})$

Informazione attuale =  $H(\text{Info}(\text{passato}), \text{Info}(\text{futuro}))$

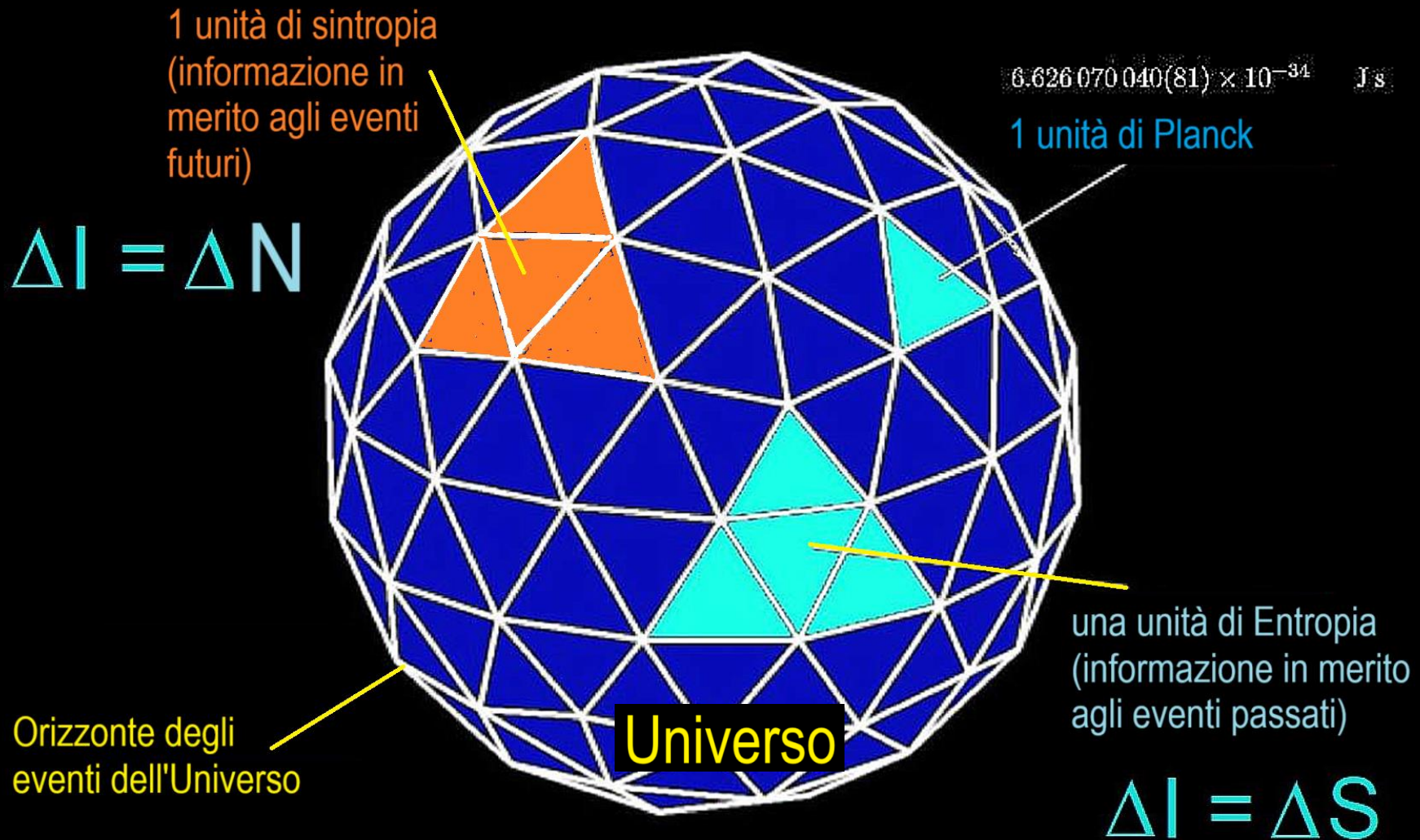
dove:

$F(\cdot)$ ,  $G(\cdot)$ ,  $H(\cdot)$  : funzioni sconosciute altamente nonlineari

 (libero) arbitrio



# Codifica dell'informazione



**Lloyd (2002) cercò di rispondere alla seguente domanda:**

**"Quanta informazione è stata elaborata dall'Universo dalla sua formazione (Big Bang) fino ad ora?"**

**Età attuale dell'Universo: 13,7 Miliardi di anni**

**Siccome l'età dell'Universo è finita (13,7 miliardi di anni), l'informazione elaborata fino ad ora non può essere infinita.**

**Questo è dovuto alle limitazioni imposte dalla Meccanica Quantistica, dalle leggi della Termodinamica e dal fatto che la velocità della luce è finita ( $c=300000$  km/sec).**

Il risultato è:

$$I \leq 10^{122} \text{ bits}$$



# Informazione codificata nell'Universo

In passato, l'Informazione era minore in quanto l'Universo è in espansione.

In futuro sarà maggiore fino a raggiungere un valore limite massimo quando la velocità di espansione sarà uguale alla velocità della luce

Nell'Universo primordiale l'Informazione variava proporzionalmente a  $t^2$

Cosa provoca ciò?

...l'Energia Oscura che crea lo Spazio-Tempo...

# Concezione delle leggi della Fisica

## Concezione Platonica

*"Le Leggi della Fisica sono perfette forme matematiche idealizzate, che realmente esistono, ma sono confinate in un dominio astratto che trascende l'Universo fisico"*

**...allora le leggi della Fisica esistono indipendentemente dall'esistenza dell'Universo, quindi le possiamo usare per studiare altri universi...**



Le leggi della Fisica descrivono l'Universo, ma l'Universo non condiziona le leggi della Fisica



## Conseguenza del principio olografico



**Le leggi della Fisica possono spiegare la Natura fino ad un livello massimo di informazione ( $10^{122}$  bits) cioè la massima informazione possibile contenuta nell'Universo.**



# Universo Olografico



Le leggi della Fisica descrivono il limitato contenuto di informazione insita nei fenomeni fisici.

Il mistero di Wigner (1960):

*"The unreasonable effectiveness of Mathematics in the Physical Sciences"*

...diversi Universi, diverse leggi Fisiche

# Conseguenze

- 1) L'energia oscura responsabile dell'espansione dell'Universo può essere trattata come energia ordinaria.
- 2) Se il contenuto di informazione  $I(t)$  è finito e limitato allora le leggi fisiche che descrivono l'Universo non possono essere sempre le stesse, nel tempo.

Le costanti potrebbero variare lentamente nel tempo



**3) L'Universo è sostanzialmente a 2 dimensioni le quali creano l'effetto tridimensionale a noi percepibile agendo sull'informazione localmente presente in ogni punto di esso.**

**4) Ogni punto locale dell'Universo contiene l'informazione completa relativa al tutto l'Universo nel suo insieme.**

**Questo spiega bene l'Entanglement**

**5) Ogni istante temporale nell'Universo contiene tutta l'informazione relativa agli altri istanti passati, presenti e futuri di esso, quindi l'informazione sul presente è una combinazione non lineare dell'informazione relativa al passato e di quella relativa al futuro.**

**Dove è il libero arbitrio?**

# Universo bidimensionale





# Descrizione matematica di un sistema fisico

## Enti fondamentali

- **Osservabili**: sono quantità fisiche  $m$  che possiamo misurare ad un tempo fissato (ad esempio  $t=0$ ) come la posizione ( $x$ ) e il momento ( $p = mv$ ) e loro funzioni come l'energia e il momento angolare.
- Si definisce **spettro dell'osservabile**  $m$  l'insieme dei valori che possiamo ottenere con una misura di  $m$ . Esso viene indicato con  $\sigma(m)$ . Essendo il risultato di una misura, ogni elemento di uno spettro è un numero reale per definizione.

- **Stati** : caratterizzano l'informazione sul sistema e li indicheremo con  $W$
- Stati con **informazione massimale** sono detti stati **puri** (ad esempio condizioni iniziali in Meccanica Classica e funzioni d'onda in Meccanica Quantistica)
- E' dibattuto se l'informazione massimale corrisponde a una proprietà intrinseca del sistema (realismo) o no (antirealismo)
- Stati con informazione minore sono detti stati misti

## Regole fondamentali

- **Probabilità** :Data un'osservabile  $m$  e uno stato  $w$  la teoria deve definire come si calcola la probabilità che una misura dell'osservabile  $m$  nello stato  $w$  dia un risultato nel sottoinsieme (misurabile)  $E$  di  $R$ . La indicheremo con  $P_w^m(E)$ , ed è confrontabile con l'esperimento.
- Questo numero reale rappresenta (interpretazione frequentista) la stima del valore medio sperimentale ottenuto misurando  $N$  volte  $m$  nello stato  $w$  ottenendo  $N(E)$  volte un risultato in  $E$ , estrapolando al limite  $N \rightarrow \infty$  il rapporto  $N(E)/N$  :  
$$P_w^m(E) = \lim_{N \rightarrow \infty} N(E)/N .$$

- **Evoluzione temporale** :Data una probabilità  $P_w^m(E)$  ad un tempo  $t=0$ , date le «forze o interazioni» che agiscono sul sistema, la teoria deve prevedere come cambia tale probabilità ad un tempo  $t>0$ , indichiamola con  $P_w^m(E,t)$ , e tale probabilità è confrontabile con l'esperimento.
- Ad esempio potremmo dare una regola di evoluzione nel tempo dello stato:  $w \rightarrow w(t)$  in modo che  $P_w^m(E,t) = P_{w(t)}^m(E)$ .
- Nel caso della MQ,  $w = \psi(x)$ ,  $w(t) = \psi(x,t)$

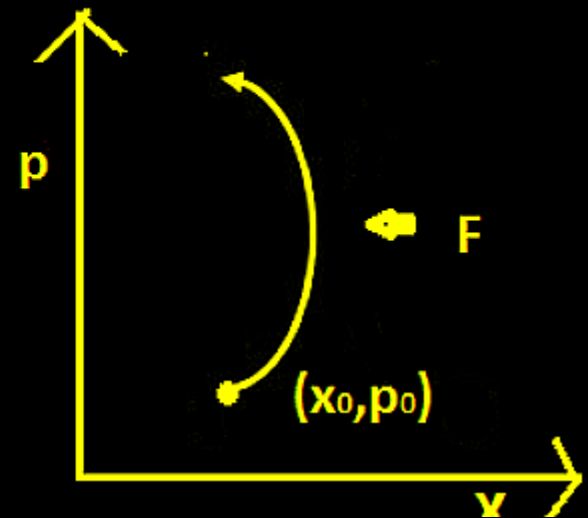


# Diversità Classico-Quantistico

## Meccanica classica

- **Osservabili:** sono descritti da funzioni di posizione e momento  $m = f(x,p)$ . Spettro di  $f(x,p)$  sono i valori che  $f$  può assumere.
- **Stati puri:** sono descritti da punti  $w = (x_0, p_0)$  nello spazio posizione-momento (spazio delle fasi), descrivono le condizioni iniziali. Essendo descritti da punti, stati puri distinti sono mutualmente incompatibili.
- **Probabilità** che una misura dell'osservabile  $m = f(x,p)$  nello stato puro  $w = w_{x_0 p_0} = (x_0, p_0)$  dia come risultato il valore reale  $a = f(x_0, p_0)$  :  
$$P_w^m(a) = 1$$

- Che gli stati puri  $W_{x_0 p_0} = (x_0, p_0)$  siano di informazione massimale lo si deduce dal fatto che noti posizione e momento iniziali  $(x_0, p_0)$  e le forze  $(F)$  che caratterizzano il sistema conosciamo con probabilità 1 posizione e momento (la traiettoria) ma anche tutte le altre grandezze fisiche, sia nel futuro che nel passato [determinismo newtoniano]
- Matematicamente questo è conseguenza dell'unicità della soluzione delle equazioni del moto a fissate condizioni iniziali.



## Osservabili classiche e ordine nel prodotto

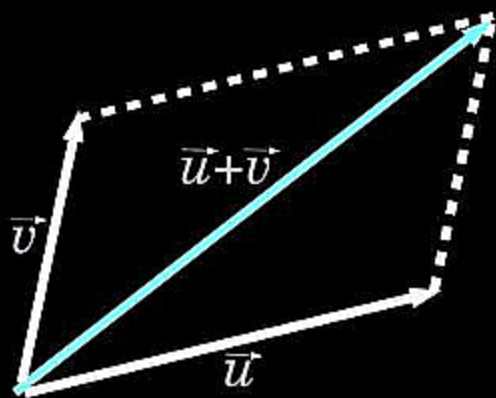
- Poiché le osservabili sono descritte da funzioni, l'ordine nel prodotto di due osservabili,  $m_1 = f_1(x,p)$   $m_2 = f_2(x,p)$ , è irrilevante:  $m_1 m_2 = m_2 m_1$
- Una misura del prodotto di due osservabili può essere pensata come la misura della prima immediatamente seguita dalla misura della seconda. Poiché l'ordine delle osservabili è irrilevante possiamo concludere che la misura di una non disturba la misura immediatamente successiva dell'altra

- **Stati misti:** sono descritti da misure di probabilità sullo spazio posizione-momento (spazio delle fasi). Ad esempio consideriamo un gas ideale in un volume  $V$  in equilibrio a temperatura  $T$ . Lo stato di una particella del gas non può essere noto (posizione-momento) in modo preciso, ma si può dare, su base di considerazioni-esperimenti fisici, una probabilità  $P(x,p)$  che abbia una posizione  $x$  (equiprobabilità in  $V$ ) e un momento  $p$  (distribuzione di Maxwell) che è descritta da uno stato misto  $w_{VT} = P(x,p)$ . Questo consente ancora di calcolare valori medi ad esempio dell'energia cinetica  $K=p^2/2m$ :  $w_{VT}(K)=3k_B T/2$



## Meccanica quantistica

- **Stati puri:** per particelle sono descritti da funzioni d'onda o nello spazio delle posizioni  $\psi(x)$  o nello spazio dei momenti  $\psi(p)$  (ma non nello spazio delle fasi! -> non ci sono traiettorie). Essendo funzioni si possono sommare, sono quindi dei vettori, non punti come nel caso classico. Due stati puri distinti non sono incompatibili perchè ogni vettore può essere ottenuto dalla somma di altri vettori distinti da esso.
- Per le polarizzazioni dei fotoni sono "funzioni d'onda" nello spazio 2-d delle polarizzazioni



- **Osservabili**: sono descritti da trasformazioni lineari sui vettori che rappresentano gli stati puri (interpretazione di Copenhagen). Non essendo funzioni non “assumono” valori se non sono misurate .
- Cerchiamo di darne un’idea precisa nel caso più semplice precedentemente discusso, quello della polarizzazione dei fotoni. La “funzione d’onda della polarizzazione”  $\Psi$  (stato puro di polarizzazione) e’ data da due numeri, chiamiamoli  $\psi_V$  ,  $\psi_O$  , i cui moduli quadri danno la probabilita’ di trovare il fotone in polarizzazione V o O, rispettivamente ( $|\psi_V|^2 + |\psi_O|^2 = 1$ ). Ad esempio  $\Psi_V = (\psi_V = 1, \psi_O = 0)$ .

- Una osservabile  $\mathfrak{m}$  nello spazio delle polarizzazioni è una trasformazione lineare della forma:

$$\mathfrak{m}: (\psi_V, \psi_O) \rightarrow (\psi'_V = a \psi_V + b \psi_O, \psi'_O = c \psi_V + d \psi_O),$$

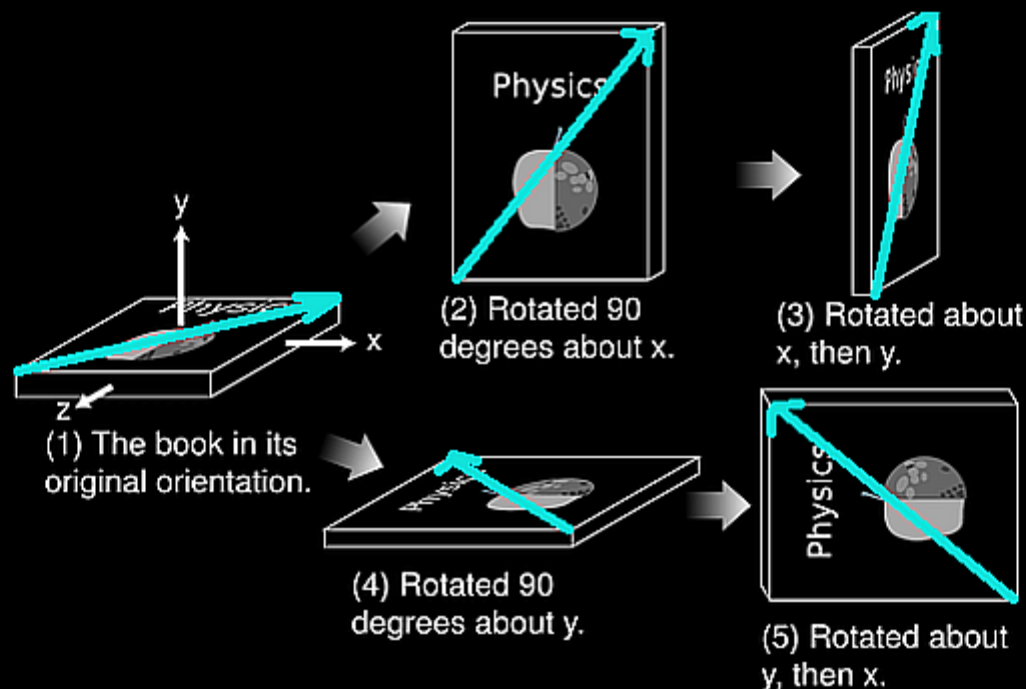
con  $a, b, c, d$  numeri. Scrivendo :

$\psi = (\psi_V, \psi_O)$  e  $\psi' = (\psi'_V, \psi'_O)$  la equazione precedente si riscrive:  $\mathfrak{m}: \psi \rightarrow \mathfrak{m} \psi = \psi'$ . I valori che si possono ottenere misurando  $\mathfrak{m}$ , cioè lo spettro  $\sigma(\mathfrak{m})$ , sono i numeri  $\lambda$  soluzione dell'equazione  $(a - \lambda)(d - \lambda) - bc = 0$ .

- Se conveniamo di dare il valore +1 alla polarizzazione verticale e -1 a quella orizzontale, allora la osservabile polarizzazione  $\mathfrak{m} = \mathfrak{p}$  è definita da  $\mathfrak{p}: (\psi_V, \psi_O) \rightarrow (\psi'_V = \psi_V, \psi'_O = -\psi_O)$ , cioè da  $a=1, b=0, c=0, d=-1$ . Lo spettro  $\sigma(\mathfrak{p}) = \{+1, -1\}$  e le probabilità di ottenere tali valori con una misura sono  $P^{\mathfrak{p}}_{\psi}(+1) = |\psi_V|^2$ ,  $P^{\mathfrak{p}}_{\psi}(-1) = |\psi_O|^2$

# Osservabili quantistiche e ordine nel prodotto

- Poiché le osservabili sono descritte da trasformazioni, l'ordine nel prodotto di due osservabili è in generale rilevante:  $m_1 m_2 \neq m_2 m_1$





# Ordine e indeterminazione

- Una misura del prodotto di due osservabili può essere pensata come la misura della prima immediatamente seguita dalla misura della seconda. Poiché l'ordine delle osservabili quantistiche è rilevante possiamo concludere che la misura di una disturba la misura immediatamente successiva dell'altra-> principio di indeterminazione di Heisenberg

- **Stati misti:** sono descritti da misure di probabilità sullo spazio degli stati puri ovvero delle funzioni d'onda  $\Psi$ . Ad esempio potremmo avere uno stato misto con  $\Psi_1$  con probabilità  $p_1$  e  $\Psi_2$  con probabilità  $p_2$ , con  $p_1$  e  $p_2$  probabilità classiche (che è diverso da  $\Psi_1 + \Psi_2$ )
- Poiché però stati puri quantistici distinti non sono incompatibili una misura di probabilità sulle funzioni d'onda può essere scritta come probabilità su diversi insiemi di funzioni d'onda, rendendo quindi non univoca la struttura probabilistica in senso classico.

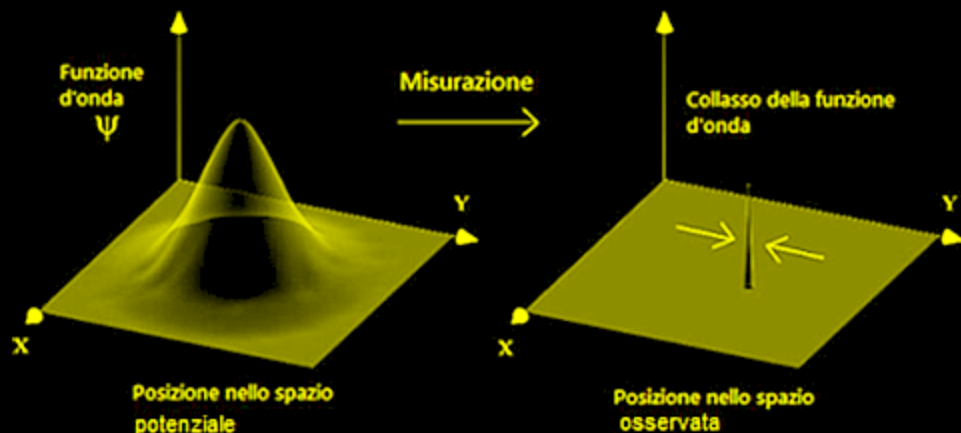
# Proprieta' della "realta' quantistica"

La fisica quantistica ci obbliga a rivedere alcune nozioni sulla "realta' fisica" che la nostra esperienza, formalizzata dalla fisica classica, ci aveva abituato a pensare come "naturali".  
Le nuove proprieta':

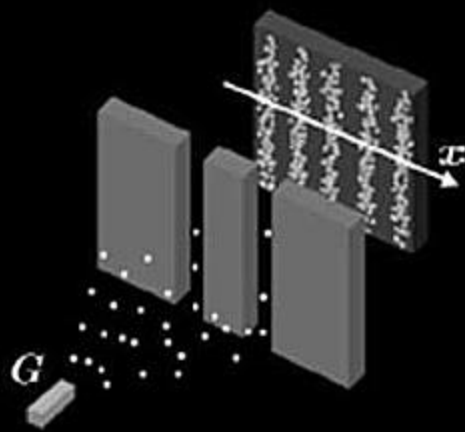
**Indeterminismo** Una conoscenza massimale del sistema ad un istante è data da un'onda di probabilità e non ci consente la previsione certa dei risultati di misure: la "realta' quantistica" in ambito predittivo e' intrinsecamente indeterministica ! In MQ

(interpretazione ortodossa)

la struttura probabilistica è non epistemica!



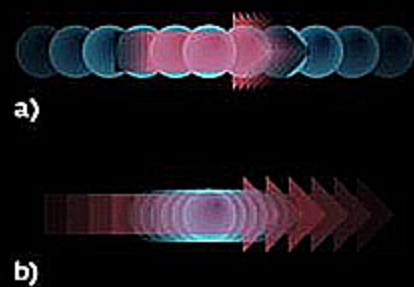
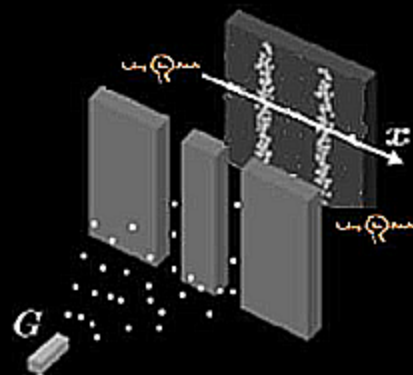
**Interferenza delle probabilità** La probabilità di ottenere un risultato in una misura è determinata dall'intensità (quadrato) della funzione d'onda del sistema. In caso di alternative non osservate, mutuamente esclusive se fossero osservate, (come le due fenditure) presenta il fenomeno di interferenza delle probabilità incomprensibile anche con la probabilità classica (epistemica)!



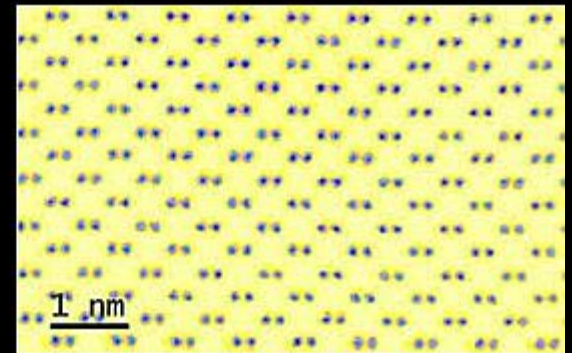


**Osservazione=disturbo** Il sistema osservato si comporta in modo diverso da come si comporta se non e' osservato! : l'interferenza delle probabilità scompare , la probabilità diventa epistemica.

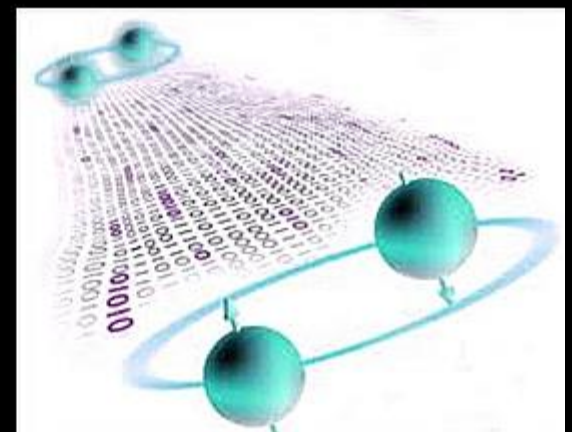
**Indeterminazione** Non posso conoscere simultaneamente con precisione arbitraria tutte le grandezze fisiche; in particolare posizione e momento delle particelle: Principio di indeterminazione di Heisenberg. Non ci sono traiettorie!



**Perdita dell'individualità per particelle identiche** In particolare le particelle della materia non possono avere neppure potenzialmente la stessa posizione (e spin)! (principio di Pauli) Conseguenze: impenetrabilità dei corpi, chimica, proprietà dei solidi

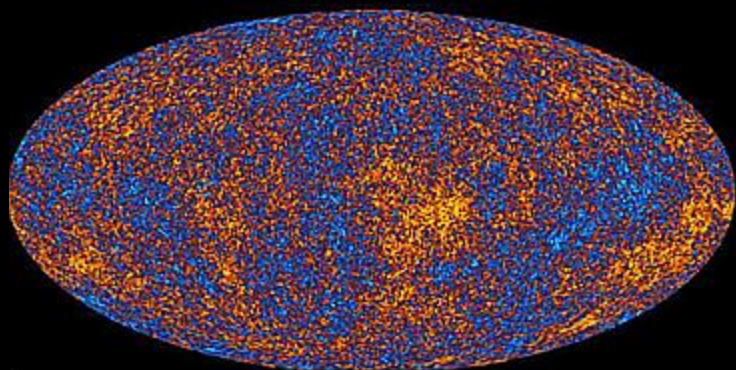


**Entanglement** Esistono sistemi composti in cui le proprietà dei sottosistemi non hanno realtà indipendenti Applicazioni: crittografia e computer quantistici

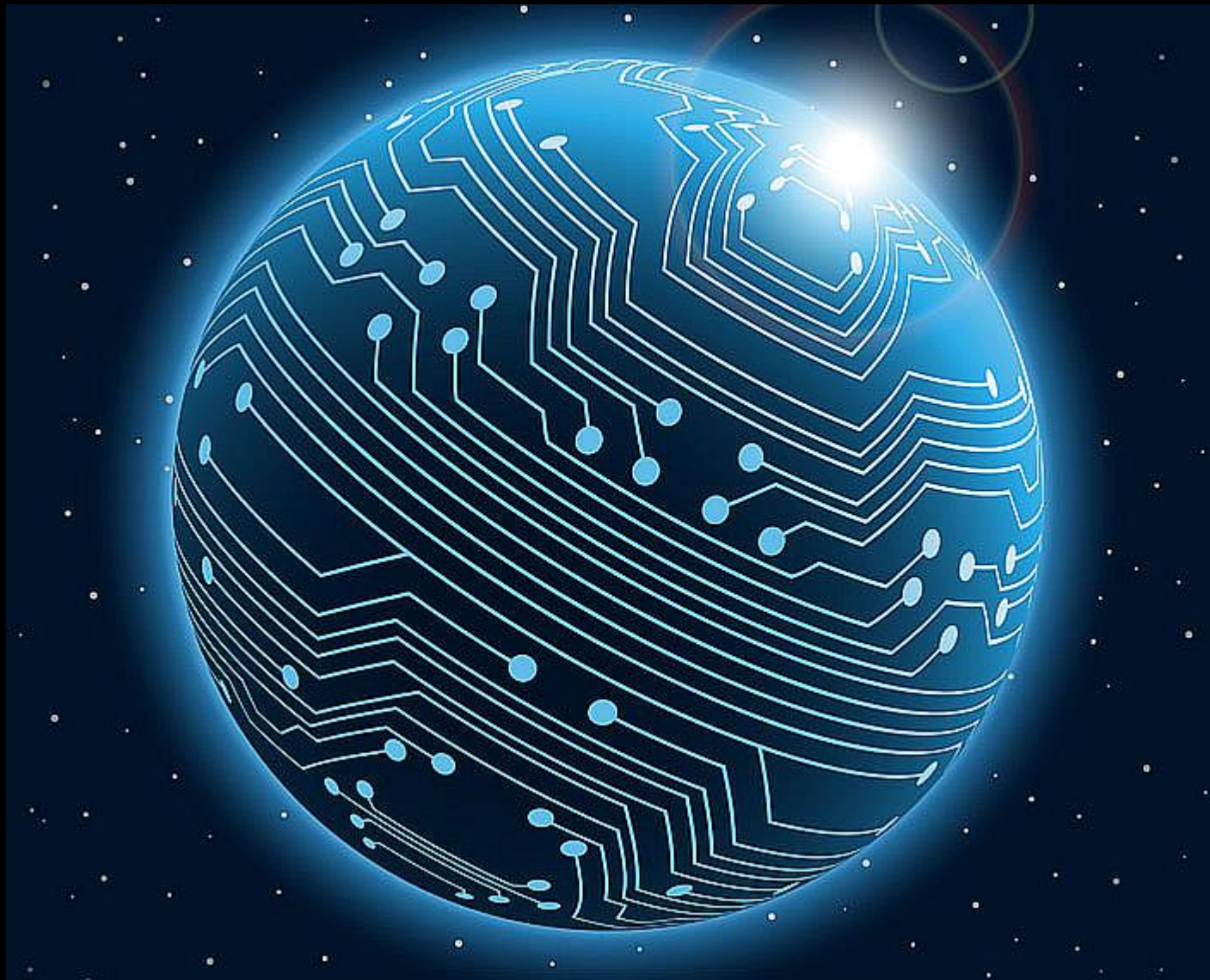




Ricordiamo che tutte le proprietà sconvolgenti del mondo dei fenomeni quantistici, la “**realta' quantistica**” di cui abbiamo parlato, sono conseguenza della sola **costante di Planck  $h$** , se essa si annullasse tali proprietà svanirebbero, ma con  **$h$**  svanirebbero le fluttuazioni primordiali dell'universo, i corpi sarebbero attraversabili e ... non funzionerebbero i cellulari del presente e del futuro...



Noi, qui, ora....





# **Campo magnetico** (f.e.m.)

**Equazioni di Maxwell**

# **Campo gravitazionale** (Gravità)

**Equazione di Newton**

**Equazione di Einstein (Relatività Generale)**

**Gravità Entropica**

# **Campo informativo** (Informazione)

**Potenziale Quantico di Bohm**

**Entropia di Bernstein-Hawking**

**Campo magnetico** (Misurabile)

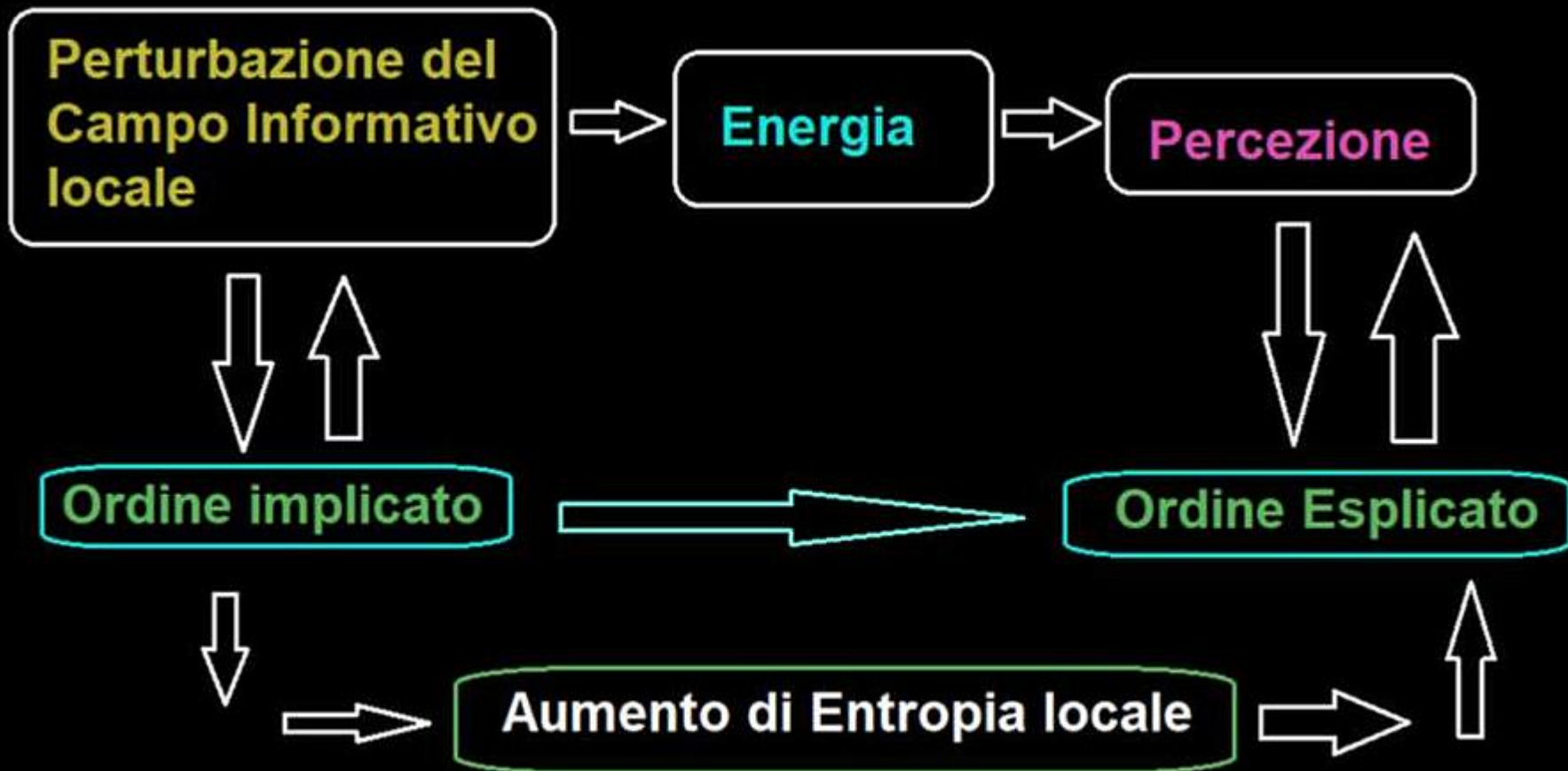
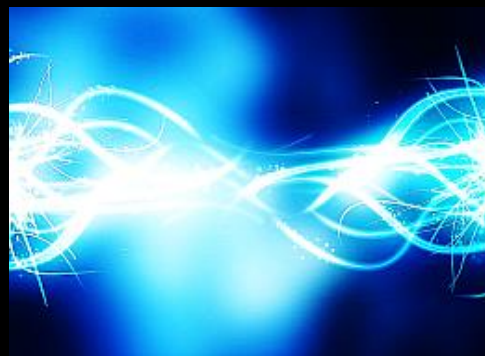
(Terra)

**Campo gravitazionale** (Misurabile)

(Terra + Sole + Luna)

**Campo informativo** (Rilevabile, ma non misurabile)

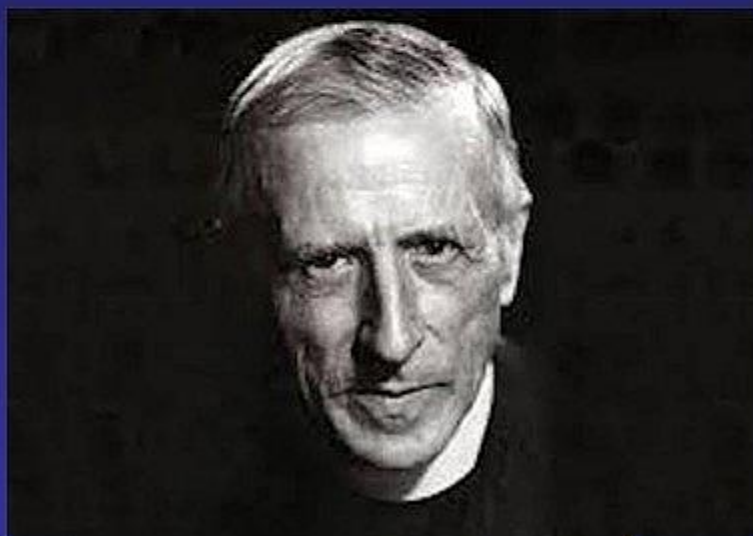
(Universo)





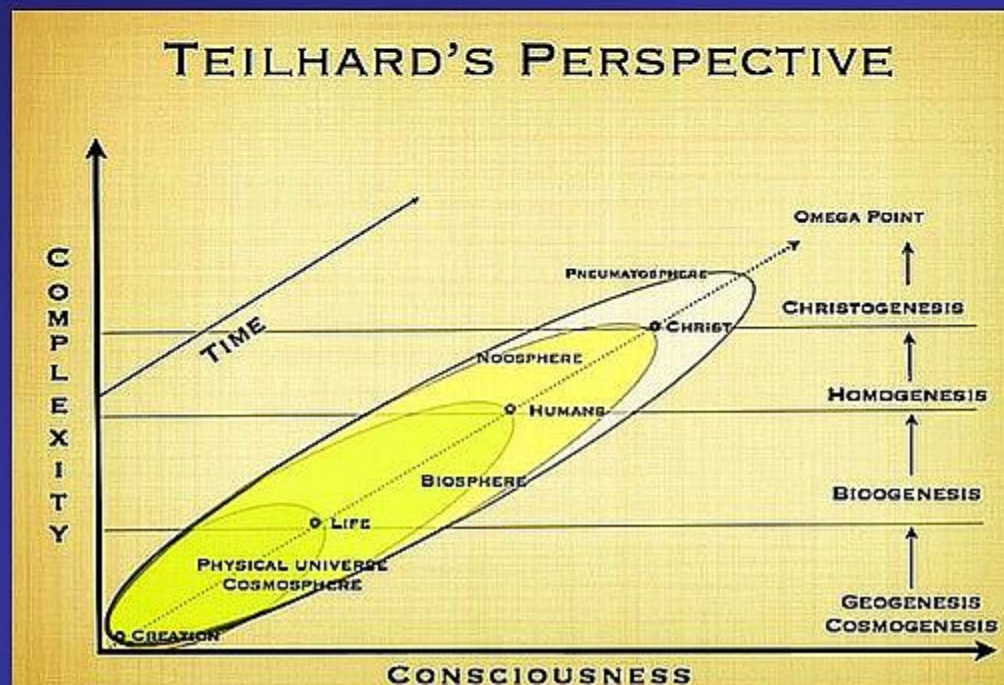
# Una domanda provocatoria:

## ...e se l'Universo in tutto il suo insieme fosse un'entità dotata di coscienza?



**Pierre Teilhard de Chardin**

Orcines, 1° maggio 1881 – New York, 10 aprile 1955)





Credo che l'Universo sia un'evoluzione.

Credo che l'Evoluzione vada verso lo Spirito.

Credo che lo Spirito si compia in qualcosa di personale.

(Pierre Teilhard de Chardin, 1934)

...l'Energia Oscura che crea lo Spazio-Tempo...

...però nessuno sa cosa sia...

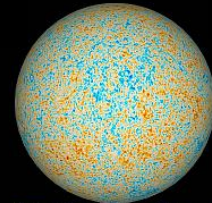
Domande strane... (ma legittime...)

L' Energia Oscura è "l'intelligenza dell'Universo"?

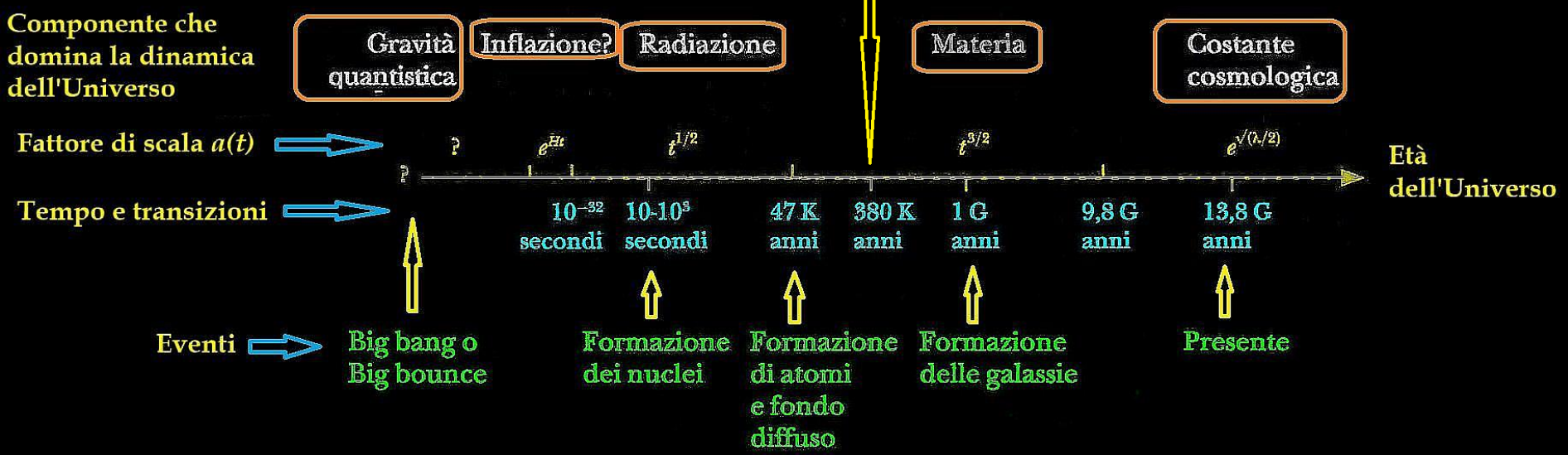
L' Energia Oscura rende l'Universo una entità cosciente e senziente?

L' Energia Oscura stabilisce le leggi della Fisica valide in un dato Universo?

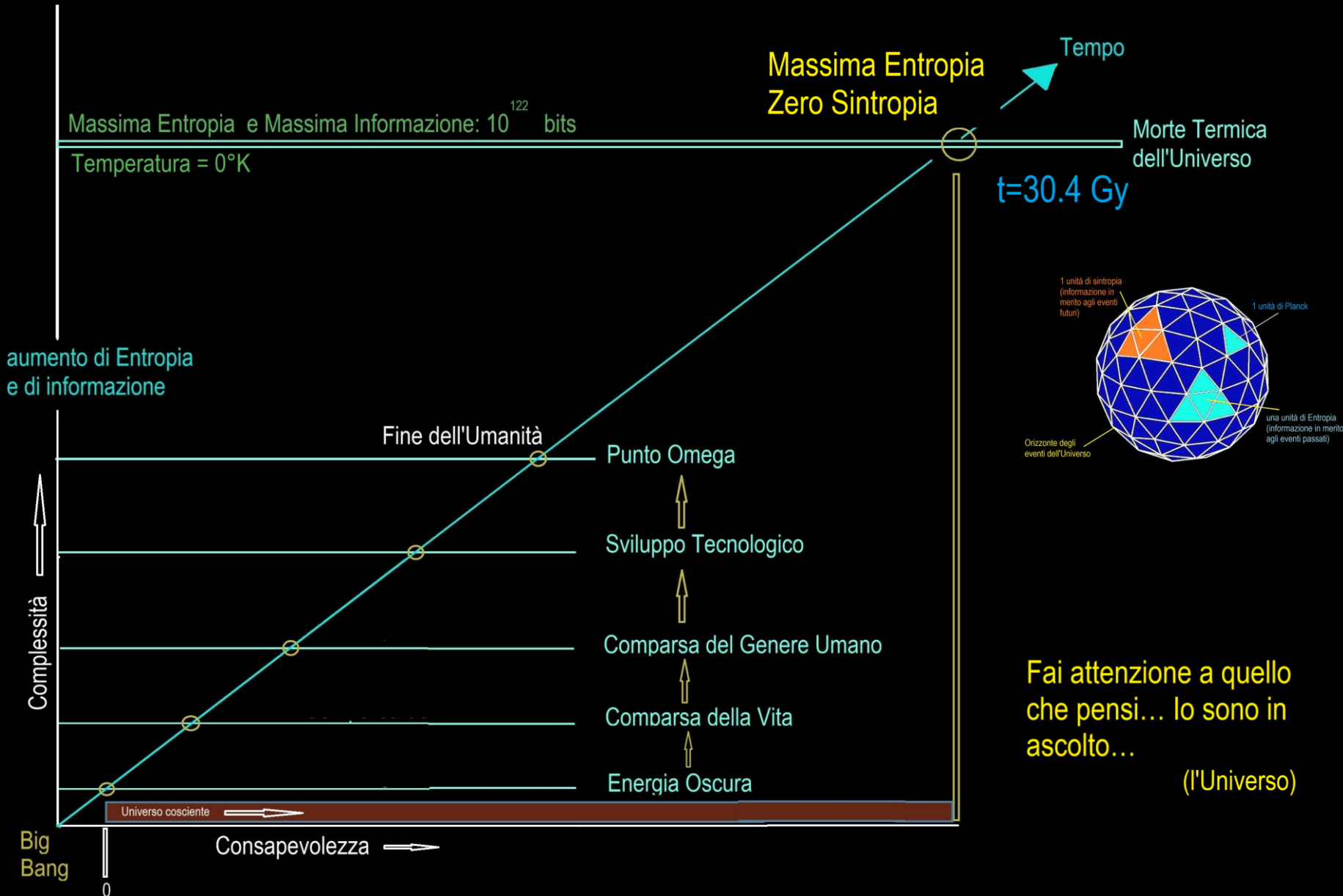
# Evoluzione dell'Universo:



CMB flux (Cosmic Microwaves Background) anisotropia termica



# Universo cosciente





**La Teoria dell'Universo Olografico  
permette (entro certi limiti) di rendere  
conto dei fenomeni olistici....**

**...ma questa è un'altra storia...**



Grazie per  
l'attenzione!