



L'EVOLUZIONE  
DEL CONCETTO DI TEMPO  
dall'inizio XX secolo ai giorni nostri

Prof. Aldegheri-Liceo Messedaglia-  
2017

## IL TEMPO NELLA FILOSOFIA DEL PRIMO NOVECENTO

- Il tempo nella sua quotidianità risultava per nulla compreso
- Esso veniva considerato, ancora, solamente nella sua oggettività...  
...qualcosa che sfuggiva e al quale ci si doveva adeguare

Gli orologi iniziano, nelle città, a scandire al minuto la vita dell'uomo, entrando prepotentemente negli ambienti di lavoro e domestici

Due correnti filosofiche tentano di affrontare la concezione di tempo...

...in un modo diverso e meno esteriorizzante

**Fenomenologia**  Husserl

**Esistenzialismo**  Heidegger

## LA FENOMENOLOGIA DI HUSSERL E IL TEMPO

**Fenomenologia:** analizza la coscienza nel suo confronto con la realtà. Ciò che si manifesta di fronte alla coscienza sono i fenomeni, i quali diventano oggetti di studio.

Come viene percepito il tempo dalla coscienza?

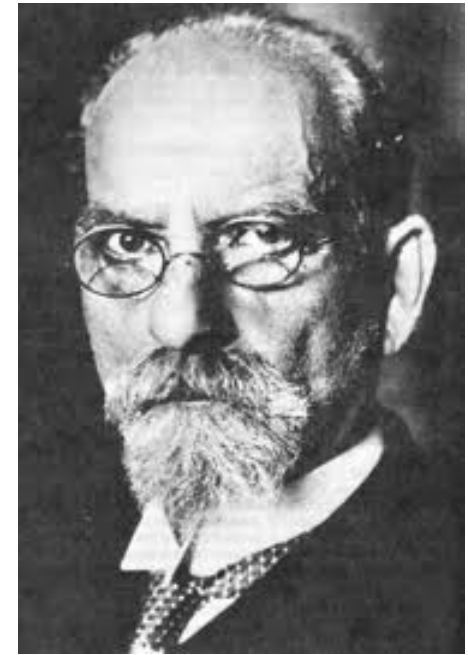
Bisogna partire dall'esperienza diretta

Husserl **parte dalla considerazione dell'esperienza dell'oggetto temporale** analizzandone durata e percezione da parte della coscienza

L'esempio del suono spiega il tempo

esso interrompe un silenzio iniziando, risuona, per poi spegnersi, in tre fasi che sembrano distinte ma sono intimamente connesse e consequenziali  
noi abbiamo l'esperienza di un suono unico non istantaneo, una totalità che dura

- La **continuità pone le basi del sentire temporale** come flusso continuo
- La centralità del tempo sta nel **non poter slegare il flusso temporale da quello coscientiale...** il primo si intreccia al secondo generandolo
- Il tempo non è una proprietà della coscienza...  
...esso ne costituisce il modo di vita e il suo compimento



Edmund Husserl 1859-1938

## HUSSERL E LE DIMENSIONI TEMPORALI

### IL PRESENTE ORIGINARIO

**La dimensione originaria del tempo è il presente**, in esso però si possono leggere anche le altre due. Ogni atto che percepiamo nel presente, nel presente è legato all'atto che lo precede e a quello che lo segue.

Il presente non è puntiforme, al suo interno contiene un'eco del passato e un'immagine del futuro

### RITENSIONE E PROTENSIONE

**La ritensione** è quell'aspetto che corrisponde al nostro **essere ancora consci e consapevoli del momento temporale precedentemente** vissuto; esso non è esattamente il passato, ma l'immagine di esso che si proietta nell'attualità del presente, facendo parte del presente stesso.

**La protensione** consiste nell'anticipazione di una fase non ancora vissuta, ma in procinto di esserlo. Essa coesistente con la ritensione e con l'impressione presente ed è **un contenuto della coscienza atteso, non attuale**; tale protensione esprime una direzionalità dell'impressione presente che è ancora vuota, ma che si sta per riempire.

### IL TEMPO IN HUSSERL

- Si delinea una **temporalità continua**,
- Il **presente ha una funzione unificatrice** e totalizzante del tempo
- Possiamo definire il **flusso di coscienza**, mediante l'associazione intima fra coscienza e temporalità

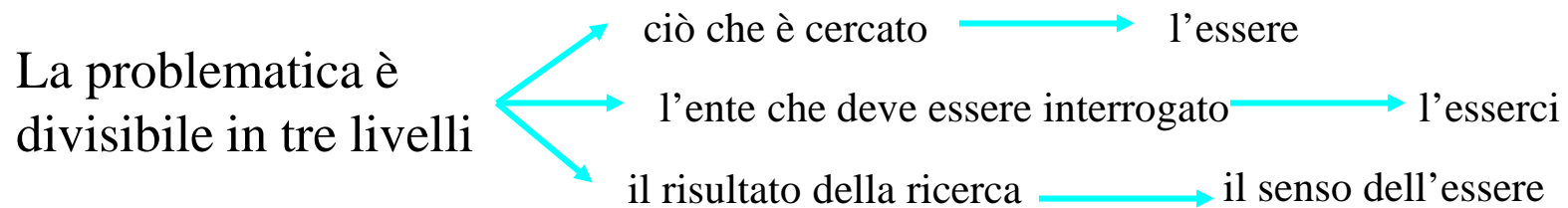
### *Heidegger riporta il tempo al centro della speculazione filosofica*

- Prende le mosse dalla contrapposizione bergsoniana fra tempo della scienza e tempo della vita...  
...ma va oltre tali determinazioni analizzando **il senso del tempo** della vita, ricercandolo **nell'essere stesso**
- La scienza ha ritenuto e ritiene il tempo solo uno strumento atto alla rappresentazione  
in tal modo la scienza non ha dato ragione di ciò che usa e su cui si fonda  
se la scienza non penetra il significato del tempo deve subentrare la filosofia
- Partendo dalla coscienza del tempo da un punto di vista fenomenologico, si giunge al **tempo nella sua temporalizzazione**, indipendentemente dagli oggetti temporali.  
va superata la centralità del presente in una direzione interpretativa più ontologica  
che si avvicina all'intima esistenza umana  
**tempo e temporalità vanno legate all'essere e all'esistenza**



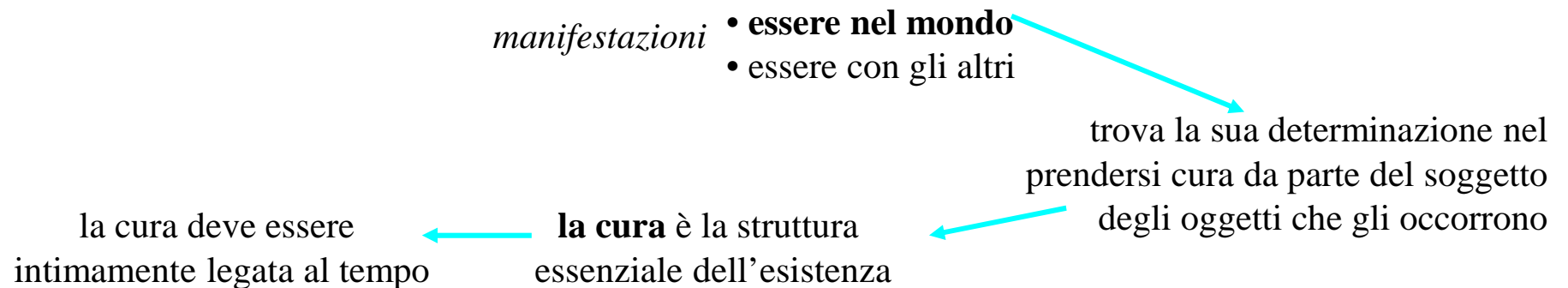
Martin Heidegger, 1889-1976

## “ESSERE E TEMPO”, HEIDEGGER STUDIA IL SENSO DELL’ESSERE




### ESSERCI, TEMPO E CURA

- **L'esserci** è il modo di essere dell'essere      strettissimo legame tra esserci e tempo  
perché la temporalità è il senso dell'esserci
- **il tempo** è ciò a partire dal quale l'esserci **interpreta l'essere**  
è l'orizzonte di ogni comprensione dell'essere
- L'essere dell'esserci è **l'esistenza**      *caratteri*
  - ha la possibilità di comprendere l'essere
  - essa stessa esprime la possibilità d'essere





## L'unità originaria della cura risiede nella temporalità

solo a partire dalla temporalità si articola la cura e si determinano le strutture dell'esserci

La manifestazione autentica della temporalità è  **l'avvenire**  
il senso autentico di questa dimensione è  
**l'essere per la morte**

*Vediamo meglio...*

la modalità dell'esserci è la possibilità  la morte è la possibilità assoluta, la più autentica  
(compimento essere e cessazione possibilità)

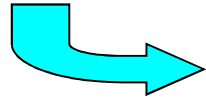
l'assunzione della morte come possibilità autentica è **l'anticipazione della morte**  
 comprensione intima e libera, fatta propria da un atto decisionale responsabile:  
**la decisione anticipatrice della morte**

*la temporalità, appena fondata, rappresenta il senso dell'esserci*

*la temporalità si proietta al futuro contenendo l'intera dimensione temporale dell'esserci*

## LA TEMPORALITÀ NEL QUOTIDIANO

Per verificare la costituzione della temporalità  
essa va studiata anche nelle sue manifestazioni legate alla quotidianità



trovandone determinazioni autentiche e inautentiche

## LE DIMENSIONI TEMPORALI IN HEIDEGGER

L'interpretazione temporale nella quotidianità non può che avviarsi dall'essere nel mondo  
ciò avviene con tre modalità

“i modi della temporalizzazione della temporalità”

**Comprensione** esistenziale fondamentale dell'esserci,

la sua temporalità è associata all' **AVVENIRE**

- autentico nell'anticipazione
- inautentico nell'attesa

**Situazione emotiva**

si temporalizza nell'essere stato, nel **PASSATO**

- autentico nell'angoscia
- inautentico nella paura

**Deiezione**

ha il suo senso esistenziale nel **PRESENTE**

- autentico nell'attimo
- inautentico nella curiosità

Prof. Aldegheri-Liceo Messedaglia-

*Le tre dimensioni non sono separate e ognuna si situa nell'intera temporalità* <sup>2017</sup> 8



**“Essere e tempo”**

Esserci → Esistenza → Cura

Temporalità → Avvenire → Decisione anticipatrice della morte

*Per Heidegger la temporalità è un senso che si va determinando nelle sue diverse modalità che si riflettono poi nei possibili modi di essere dell'esserci:*

*“la temporalità non è un ente. Essa non è, ma si temporalizza”*

**Incompiutezza di “Essere e tempo”**

L'elaborazione del rapporto fra essere e tempo è solamente impostata...  
...quando l'opera si ferma

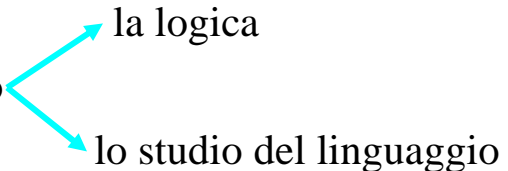
Dal risalire all'essere attraverso l'esistenza il filosofo passerà a studiare l'essere ponendosi direttamente nel punto di vista dell'essere stesso, in tale ottica il tempo non rappresenterà più l'orizzonte di comprensione dell'essere

Nel 900 gli approcci di studio sulla natura del tempo si ampliano...

...non vengono più considerati solo l'aspetto ontologico e gnoseologico

La corrente protagonista di un nuovo approccio filosofico alla realtà  
e quindi anche al tempo è...

**LA FILOSOFIA ANALITICA** i cui principali strumenti sono



```
graph LR; A[LA FILOSOFIA ANALITICA i cui principali strumenti sono] --> B[la logica]; A --> C[lo studio del linguaggio];
```

### *Caratteristiche*

- Analizzare le questioni imponendo un **metodo** di indagine rigoroso
- Affrontare le problematiche filosofiche da un **punto di vista dimostrativo** e logico
- Superare l'inadeguata metafisica con l'**uso del linguaggio**, come mezzo di indagine della realtà, attraverso la verità o la falsità del quale riusciamo empiricamente a descriverla

## MCTAGGART E L'IRREALTÀ DEL TEMPO

McTaggart propone una riflessione sul tempo che ne vuole minare la sostanzialità

Tale riflessione diventerà la più influente...

...dando il via ad un dibattito che...

...ha generato le più moderne teorie sul tempo



John Ellis McTaggart,  
1866-1925

### Il fondamentale inizio dell'argomentazione di McTaggart:

le posizioni nel tempo possono essere di due tipi

ogni posizione è presente passata, o futura

La serie che va dal passato remoto al futuro  
attraverso il presente è chiamata

#### **Serie A**

le sue posizioni non sono permanenti

ciascuna posizione è prima di qualcuna  
e dopo qualcuna altra

La serie di posizioni dal prima al dopo  
è chiamata

#### **Serie B**

le sue posizioni sono permanenti

## L'ARGOMENTAZIONE DI MCTAGGART

A è  
fondamen-  
tale

Entrambe le serie sono essenziali per la costituzione del tempo

La serie A rende atto del divenire

in quanto ogni mutamento è un mutamento delle caratteristiche degli eventi

La serie A è fondamentale: possiamo descrivere passato, presente e futuro, non spiegarli

Dobbiamo  
postulare  
il divenire

Passato, presente e futuro sono determinazioni reciprocamente incompatibili,  
tuttavia sono possedute tutte da uno stesso evento

La difficoltà sembra risiedere nel linguaggio,

in quanto non c'è una forma verbale che comprenda i tre tempi insieme

Superiamo la difficoltà postulando il divenire e la sequenzialità delle 3 dimensioni

Contraddi-  
zione

Così, però assumiamo l'esistenza del tempo per rendere ragione  
del modo in cui i momenti sono passati, presenti e futuri

in cui il tempo deve essere presupposto per rendere ragione della  
serie A la quale era a sua volta a fondamento del tempo

circolo  
vizioso

Il tempo  
non è  
reale

L'applicazione della serie A alla realtà implica una contraddizione,

se la serie A non può essere applicata al reale

ne consegue che il tempo non può essere reale <sup>12</sup>

## Il tempo in McTaggart

dalla constatazione che la percezione diretta, la memoria e l'anticipazione della percezione sono stati mentali

nasce la credenza che la stessa percezione modifichi le sue caratteristiche in una sorta di evoluzione

approccio empirico-cognitivista

con riferimento ad Hegel

privando il tempo di razionalità lo si priva di realtà

## LA TEORIA A E LA TEORIA B

L'argomentazione di McTaggart è superata

l'irrealtà del tempo non è sostenuta dai filosofi analitici attuali

Essi, però, si dividono proprio secondo le due serie illustrate in teorici A e teorici B

### Teoria A

- è basata sulla necessità della serie A
- ritiene fondamentale, per il tempo, il mutamento, che si ha proprio con la serie A
- vede il mondo come una serie di eventi che acquistano/perdono la proprietà di essere pass/pres/fut
- ha un carattere dinamico e tensionale (dipende dal tempo delle asserzioni)

### Teoria B

- è basata sull'illusorietà della serie A
- il tempo è una successione di eventi connessi dalla relazione prima di/dopo di/simultaneamente a
- il tempo è un ordine di eventi preciso ed immutabile
- non c'è un punto di riferimento da cui giudicare gli eventi, tutti hanno lo stesso valore
- ha un carattere statico e atensionale (indipendente dal tempo delle asserzioni)

LE RISPETTIVE  
CRITICHE

Per A B è paradossale perché non rende conto dello scorrere del tempo

Per B Prof. Aldegheri-Liceo Messedaglia-  
pass/pres/fut sono mere rappresentazioni mentali

### La realtà del futuro

A: credono parzialmente nella libertà umana, ritenendo il futuro in parte irreali

B: la differenza tra ciò che è ora e ciò che è passato o futuro è analoga alla differenza spaziale tra ciò che è qui e ciò che è là

### L'oggettività del divenire

A: il divenire è fondamentale e il presente ha un ruolo centrale, in esso si attualizzano gli eventi nella costituzione del tempo

B: il divenire è una costruzione di pensiero, nessun evento accade né smette di esistere; esiste solo una catena di fatti sempre nella stessa relazione tra di loro

### La natura del mutamento

A: il mutamento è dovuto al fatto che gli eventi si assommano uno sopra l'altro; la totalità degli eventi è funzione del tempo

B: il mutamento è illusorio perché nessun nuovo evento entra a far parte del tempo; la totalità degli eventi non si accresce

Le due teorie giungono a descrizioni della temporalità molto diverse;

riprendendo un'antica contrapposizione nata con la filosofia greca possiamo affermare, con le parole del filosofo del tempo Mauro Dorato, che:

“ai giorni nostri, l'opposizione tra le filosofie dell'essere e del divenire si incarna... nella distinzione tra concezione atensionale e tensionale del tempo”

Il tempo, nelle discipline scientifiche, era rimasto *dall'epoca di Newton fino a Mach* ben ancorato ad una precisa ed univoca concezione che lo vedeva come assoluto, omogeneo e caratterizzato da un costante fluire

*dopo l'esperienza di Einstein* l'idea di tempo in campo scientifico aveva subito un notevole mutamento

ma se da un lato la relatività aveva dato nuove risposte  
riguardo alla dimensione temporale  
dall'altro facendone crollare la precedente immagine apriva nuove questioni

**Il tempo che si credeva di conoscere  
andava di nuovo studiato e capito**

*Nella fisica contemporanea*, anche se innumerevoli progressi sono stati fatti nella comprensione della dimensione temporale, restano ancora molti punti di domanda sul suo essere e sulla sua estensione...

...in particolare *nella cosmologia e nella fisica delle particelle*



Tra le molteplici problematiche che riguardano il tempo e gli ambiti della fisica moderna in cui esso entra

- 1) scegliamo di trattare una questione centrale che coinvolge molti ambiti della fisica abbracciando l'intera fisica del 900

## LA FRECCIA DEL TEMPO

Problematica che appare alla fine dell'800 con la formalizzazione della termodinamica

e coinvolge poi l'intero scibile della fisica dalla meccanica quantistica alla fisica delle particelle e alla cosmologia

- 2) inoltre accenniamo agli ultimi sviluppi del concetto di tempo che emergano da una branca della fisica contemporanea quale la gravità quantistica, studiando:

Prof. Aldegheri-Liceo Messedaglia-  
2017

## IL TEMPO NELLA GRAVITA' QUANTISTICA

## La termodinamica rompe la simmetria temporale

Alla metà dell'800 i concetti di calore, lavoro ed energia vengono perfettamente formalizzati nella termodinamica e nei suoi due principi

Conservazione dell'energia

L'impossibilità in natura di alcune trasformazioni

L'impossibilità testimoniava la non completa inversione temporale di alcuni fenomeni

*In precedenza le equazioni e i principi della meccanica non avevano evidenziato una direzionalità preferenziale dei fenomeni*

Le grandezze che descrivevano un sistema potevano essere invertite con un cambiamento di segno e il sistema poteva essere sempre determinato

*Ora con il secondo principio della termodinamica viene rotta la simmetria data per scontata*

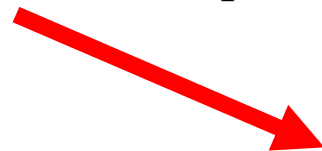
*→ la fisica sembra avere un senso preferenziale*

Ulteriore conferma di quanto enunciato nel 2° principio venne dalla determinazione e dallo studio di una nuova grandezza l'**entropia**

Introdotta da Clausius nel 1865

Associata ad un sistema termodinamico l'entropia quantifica il calore scambiato da questo ad una certa temperatura

- l'entropia rende conto dell'evolversi di un sistema
- come l'energia può essere legata al 1° principio della termodinamica l'entropia ne interpreta il secondo



Nelle trasformazioni spontanee della natura l'entropia aumenta sempre

L'entropia dà un'immagine temporale dell'evoluzione del sistema

**LA ROTTURA DELLA SIMMETRIA DELLE LEGGI FISICHE È COMPIUTA**

Prof. Aldegheri-Liceo Messedaglia-

**→ FRECCIA TERMODINAMICA**

2017

19

- l'invarianza per simmetria temporale in fisica sembrava superata
- l'irreversibilità peraltro rende conto della realtà che ci sta sotto agli occhi

Gli scienziati credono di aver finalmente **legato speculazione scientifica e realtà**, motivando quello che appare a tutti: lo scorrere del tempo

Gli studi fatti fino ad allora in termodinamica erano per lo più sperimentali e mancava una rigorosa teoria matematica

Tale teoria arriva con **Boltzmann**

Studiando il comportamento delle particelle in maniera statistica, **l'entropia** di uno stato può essere **associata alla probabilità** che quello stato si realizzi

che interpreta statisticamente il 2° principio e l'entropia

**Gli stati che non vediamo** o i fenomeni che non si presentano in natura non si realizzano semplicemente perché **altamente improbabili**



Boltzmann ponendo le basi della **meccanica statistica** riporta la **termodinamica sotto il dominio della cinematica**

in quanto le leggi della meccanica statistica sono invarianti per inversione temporale

anche gli studi di Boltzmann evidenziavano come l'entropia, di un sistema, deva, comunque, sempre aumentare



Ludwig Boltzmann  
1844-1906

L'ulteriore passo per eliminare totalmente l'asimmetricità della coordinata temporale fu fatto dal matematico francese **Poincaré** con il **teorema della ricorsione**,



maggiore è il numero delle particelle considerate maggiore è il tempo richiesto per ristabilire l'assetto iniziale

un insieme finito di particelle che costituiscono un sistema ritorna necessariamente al suo stato iniziale dopo un determinato tempo

si può mostrare che il ciclo che fa tornare allo stato iniziale un insieme costituito da qualche decina di particelle richiede una durata superiore a quella che secondo le stime attuali corrisponde all'età dell'universo

Meccanica e termodinamica risultano invarianti rispetto al tempo

...e le altre branche della fisica?

L' **elettromagnetismo** formulato da Maxwell non indica  
una preferenza temporale nelle equazioni

Chiamiamo onde ritardate quelle che procedono avanti nel tempo  
onde anticipate quelle in grado di retrocede nel tempo

Vediamo la quasi totalità di onde ritardate che trovano ragione nella  
di nuovo per considerazioni statistiche meccanica statistica quantistica

Nella **meccanica quantistica**,  
dove le particelle possono essere descritte da un formalismo ondulatorio  
e dove le grandezze sono legate ad una loro determinazione probabilistica

la funzione d'onda di Schrodinger è simmetrica rispetto all'inversione temporale

→ Nella meccanica quantistica la **questione temporale risulta di complessa** trattazione in quanto  
il **passato rimane avvolto da una fondamentale incertezza** che lo dipinge come una combinazione  
probabilistica delle possibili alternative che hanno portato alla misura presente

I progressi della meccanica quantistica e gli studi della fisica nucleare portano a maturazione una nuova branca della fisica, **la fisica delle particelle**

È in questo ambito che **Pauli** dimostra che **ogni interazione fisica è invariante rispetto all'operatore T**, che esegue l'operazione di inversione temporale  
precisiamo



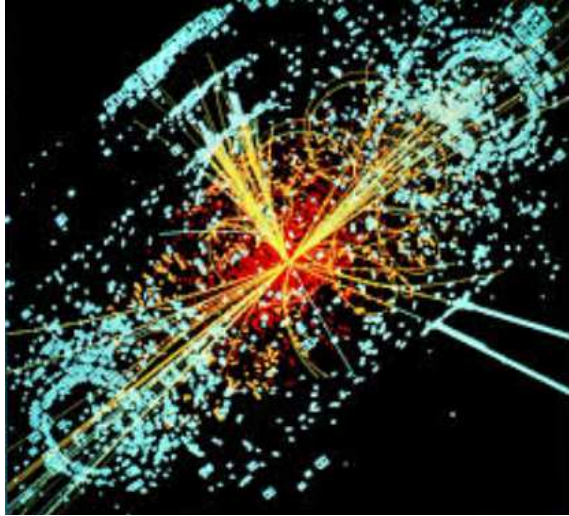
Nel 1954 Pauli e Luders dimostrano il **teorema CPT**,

«Una generica teoria che rispetti la simmetria relativistica e il principio di causalità deve essere invariante rispetto ad una trasformazione CPT con C, coniugazione di carica  
P operatore parità  
T inversione temporale»



La fisica di un qualunque processo rimane invariata se, oltre a scambiare la destra con la sinistra e la materia con la sua antimateria, si inverte il corso del tempo

La fisica sembra giunta ad una rigida assiomatizzazione della simmetria temporale, quando, come spesso avviene nella scienza, qualcosa cede



Fitch e Cronin verificano che **una particolare particella non rispettava**, nelle sue interazioni, **la simmetria temporale**

Basta un solo processo che non conferma l'inversione Temporale e ciò rende nullo il principio di reversibilità



poiché si introduce una seppur minima capacità di distinzione tra futuro e passato

Lo studio della fisica particellare è lontano dall'essere completo

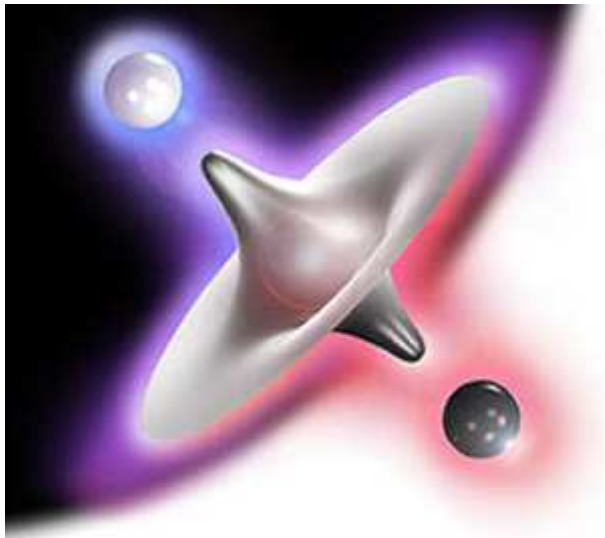


..e una prova definitiva della asimmetria temporale non è ancora definitivamente trovata



## *In cosmologia?*

La possibile rottura della simmetria vista  
risulta significativa negli studi cosmologici



La perfetta simmetria temporale prevederebbe infatti  
una uguale presenza di materia e antimateria a fronte  
invece dell'evidenza sperimentale vista finora  
della prevalenza della materia

Le questioni concernenti l'origine,  
la fine e l'età dell'universo ineriscono al  
concetto di tempo in maniera pregnante

Le risposte, ora come millenni fa,  
possono essere al più abbozzate  
rifacendosi a previsioni mai  
totalmente verificabili



La scala temporale umana agisce come elemento contingente alla ricerca  
che non consente di andare oltre ad alcuni tentativi teorici di spiegazione

25

Diverse prove scientifiche testimoniano come l'evoluzione del cosmo possa essere fatta risalire ad una singolarità spaziotemporale

## Teoria del big bang

Si configura una direzione temporale determinata, che discrimina tra futuro e passato

Una **FRECCIA COSMOLOGICA** sembrerebbe dunque esistere

..ma la comunità scientifica non è totalmente d'accordo con questa affermazione...

...e a tutt'oggi i cosmologi sono incapaci di motivare precisamente la consistenza di tale freccia



Non si può infatti escludere nell'avvenire una involuzione dell'entropia che veda il suo diminuire rispetto al suo aumentare

Le più moderne teorie non escludono che:

→ la realtà in cui stiamo vivendo sia un'infinitesima parte di un'evoluzione simmetrica nel tempo,

→ il nostro stesso universo sia semplicemente una manifestazione di un multiverso perfettamente simmetrico rispetto al tempo

Lo stesso Stephen Hawking sostiene che...

..considerando le scale dimensionali con cui ci troviamo a ragionare,



non possiamo escludere che ci siano regioni o momenti in cui la freccia si inverte sancendo una simmetria globale,

→ essendo tali momenti non compatibili con la vita come la conosciamo

→ nè sarebbero osservabili da civiltà simili a quella umana



se non ci fosse freccia o l'universo si contraesse invece di espandersi non ci sarebbe neppure il genere umano ad interrogarsi sulla freccia

## ***In conclusione***

possiamo affermare che contrariamente all'esperienza quotidiana della **FRECCIA PSICOLOGICA**, dove emerge l'irreversibilità dei fenomeni, le leggi della fisica, esplicitate in innumerevoli equazioni, rispettano una precisa simmetria per inversione temporale

questo non implica una totale inversione del tempo in sé, indica che se gli eventi accadessero esattamente al contrario non ci sarebbe da sollevare la minima obiezione,



tale comportamento sarebbe consentito, al più improbabile

La freccia del tempo che viviamo non trova una definitiva ragione nella scienza



e questa incapacità porta le leggi fisiche a non poter distinguere fra passato e futuro

***Questo indica che lo strumento che noi utilizziamo per studiare la realtà non solo non è intimamente influenzato dal tempo, ma può agire indifferentemente ad esso, funzionando ugualmente***

Prof. Aldegheri-Liceo Messedaglia-

D'altra parte dopo la teoria della relatività generale a rigore non si può riconoscere **un'evoluzione dimensionale** nel solo tempo, ogni evento, semplicemente, esiste **nello spaziotempo** e l'unica cosa reale è proprio lo spaziotempo nella sua totalità

Rifacendosi alle considerazioni dello stesso Einstein:

**“la distinzione tra passato, presente e futuro è solo un'illusione anche se ostinata”**

## Frontiera della fisica: unificazione fra relatività generale e meccanica quantistica

Relatività generale e meccanica quantistica sono perfettamente **autoconsistenti** e appaiono **incompatibili** → Il campo gravitazionale è determinato senza MQ e la R può essere formulata senza il concetto di quanto

Nella maggioranza dei fenomeni/applicazioni delle due si può trascurare l'altra  
Relatività generale → masse ponderabili e si perde granularità  
Meccanica quantistica → entità piccole che si confondono con la loro  $\lambda$

La fisica contemporanea cerca di **conciliare queste due teorie in una sola** univoca interpretazione della natura

Unificare la gravitazione  
alla teoria quantistica dei campi

# La gravità quantistica....

...per provare ad unire le due teorie tenta di quantizzare le fondamentali determinazioni della teoria gravitazionale:  
lo spazio e il tempo, manifestazioni dello spazio-tempo

Proviamo a quantizzare s e t  
esiste un limite alla divisibilità dello spazio?

*Il ragionamento,  
per trovare il limite di spazio*

*Più cerco di localizzare una particella,  
più esse sfugge veloce,  
più energia più curvatura dello spazio  
limite della curvatura è un buco nero  
→ho trovato la minima grandezza di una  
particella prima che cada nel suo stesso buco nero*

$$\text{lunghezza}_{\text{Planck}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \cong 1,62 \cdot 10^{-35} \text{ m}$$
$$\text{tempo}_{\text{Planck}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \cong 5,39 \cdot 10^{-44} \text{ s}$$

A queste dimensioni si  
manifesta la **gravità quantistica**,  
spazio e tempo assumono una diversa natura

**Wheeler e DeWitt** nel 1966 elaborano un'equazione  
che affronta il problema dello spazio quantizzato

$$\left[ 16\pi G \nabla^2 + \frac{\sqrt{\hbar} R}{16\pi G} \right] \Psi [h_{ij}(x)] = 0$$

- Questa equazione diventa fondamentale per i successivi studi in gravità quantistica
- Nell'equazione di Wheeler-DeWitt **non è presente il tempo**.  
Il tempo non è elementare come lo spazio, nasce come conseguenza dei processi quantistici, come manifestazione del campo gravitazionale
- Non si studia l'evolversi di una certa grandezza nel tempo, ma si relazionano tra di esse grandezze diverse  
non si studiano  $A(t)$  e  $B(t)$  ma  $A(B)$  e  $B(A)$
- Nei successivi e più moderni sviluppi della teoria (gravità quantistica a loop) le equazioni fondamentali non includono la variabile tempo



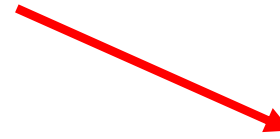
*«Il tempo in sé, come osserva Newton stesso nel suo libro, non è osservabile. Noi osserviamo solo cose in movimento, la variabile tempo è un'utile aggiunta per mettere ordine. Ma in uno "spazio-tempo", cioè in un campo gravitazionale, soggetto a fluttuazioni quantistiche e alla granularità minuta che caratterizza tutti gli effetti quantistici, questa inosservabile nozione del tempo perde ogni utilità.»*

**Carlo Rovelli**

*«È un po' come dire che la distanza in chilometri lungo un'autostrada è un concetto utile se ci serve per viaggiare in automobile, ma se stiamo studiando i singoli grani dell'asfalto diventa una nozione che fa solo confusione. Per studiare i quanti di gravità, il tempo non è più una buona variabile.»*

**Carlo Rovelli**

Nell'equazione di Wheeler DeWitt manca una grandezza per studiare l'evoluzione dei sistemi



Problema del tempo



Nell'affrontare questo problema si sviluppano le più moderne teorie fisiche, ma anche filosofiche sul tempo

- Julian Barbour, «La fine del tempo»
- Carlo Rovelli, «Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?»
- Lee Smolin «La rinascita del tempo»



*Grazie per  
l'attenzione*