

Misurare il tempo, dall'astronomia agli orologi

Giornate di diffusione della cultura scientifica

*La natura del tempo  
e la sua comprensione  
nell'epistemologia  
contemporanea*

**Erica Bisesi**

Dipartimento di Fisica – Università di Udine

*“per chi crede nella fisica,  
la distinzione tra passato, presente e futuro è solo un’illusione,  
per quanto testarda”  
(Albert Einstein, 21 marzo 1955).*

*“Che cos’è il tempo?  
Se nessuno me lo chiede, lo so;  
se dovessi spiegarlo a chi me lo chiede, non lo so;  
eppure posso affermare con sicurezza di sapere che  
se nulla passasse, non esisterebbe un passato;  
se nulla sopraggiungesse, non vi sarebbe un futuro;  
se nulla esistesse, non vi sarebbe un presente”.  
(Sant’Agostino, Confessioni)*

# Sommario

- 1.** La comprensione del tempo
- 2.** La natura del tempo

# La comprensione del tempo

distinzione tra **piano fisico** e **piano percettivo**:

nel corso della storia del pensiero umano, sono sempre emerse **due distinte tendenze** nell'affrontare il problema del tempo:

- **filosofia naturale** di Pitagora ed Aristotele, **fisica** di Newton e Kant: il tempo è un fatto della natura, a cui la mente è costretta ad adeguarsi;
- diversamente, secondo Plotino e Sant'Agostino e, successivamente, Brentano ed Husserl, il tempo è esclusivo dominio del **pensiero umano**, pura idealizzazione di contenuti mentali.

# La comprensione del tempo

Il grosso **problema** della **conciliabilità** del tempo fisico (obiettivo, reale) con il tempo psicologico (soggettivo, fenomenico) rimane tutt'oggi **irrisolto** (Ricoeur, 1988; Vicario, 1997).

## Esempio:

problema della **giusta velocità** dei movimenti:

- moto dei **pendoli**

# Gli studi di Bozzi sui pendoli

- **FISICA:** la frequenza di oscillazione di un pendolo è stabilita da una relazione matematica universale:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

- **PERCEZIONE:** per l'osservatore, il moto oscillatorio del pendolo possiede una proprietà che, nel corso di una descrizione obiettiva, non potrebbe mai essere menzionata: cioè il carattere di 'rapidità', o di 'lentezza' o di 'adeguatezza' delle oscillazioni in rapporto alla struttura del pendolo voluto (P. Bozzi, *Osservazioni sulla percezione del moto pendolare armonico*).

**$A = k\omega$** , dove  $k$  è il carattere espressivo del movimento,  $A$  è l'ampiezza di oscillazione e  $\omega$  la frequenza del pendolo misurata operativamente.

# La comprensione del tempo

Il grosso **problema** della **conciliabilità** del tempo fisico (obiettivo, reale) con il tempo psicologico (soggettivo, fenomenico) rimane tutt'oggi **irrisolto** (Ricoeur, 1988; Vicario, 1997).

## Esempio:

problema della **giusta velocità** dei movimenti:

- moto dei **pendoli**
- esecuzione delle **melodie musicali**

# Dalla **psicofisica** alla **percezione musicale**

*Si può definire una “giusta” velocità di  
esecuzione delle melodie?*

*In caso affermativo, da cosa dipende?*



Due ambiti di indagine:

- **struttura del brano**
- **espressività**



# Dalla psicofisica alla percezione musicale

**1) Bisesi, E., & Vicario, G. B. (2009)**

**Factors affecting the choice of performed tempo.**

Accepted for publication in *British Postgraduate Musicology*.

**2) Bisesi, E., & Vicario, G. B. (2009, in press)**

**The “right” speed of movements and preferred musical tempo.**

Accepted for publication in

A. Galmonte, & R. Actis-Grosso (Eds.),

*Different psychological perspectives on cognitive processes:*

*Current research trends in Alps-Adria region.*

Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.

**3) Bisesi, E., & Vicario, G. B.**

**Psychoacoustical aspects of the speed of melody performance.**

In M. M. Marin, M. Knoche, & R. Parncutt (Eds.),

*Proceedings of the first International Conference of*

*Students of Systematic Musicology (SysMus08),*

Graz, Austria, 14-15 November 2008

<http://www.uni-graz.at/muwi3www/SysMus08/>

# Il tempo fisico

E' possibile identificare **tre diverse interpretazioni** del concetto di tempo, in grado di influire fortemente sulla comprensione della fisica (Lemmer & al., 1999):

- il tempo **ciclico** (*periodòs*),
- il tempo come **sequenza orientata di eventi** (*kairòs*) ed
- il tempo della **meccanica** (*chronos*).

Mentre il concetto di ciclicità è presente sin dalle tradizioni più antiche – quale conseguenza dell'osservazione della ricorrenza di fenomeni naturali, Aristotele associò l'idea del tempo a quella di movimento ovvero al cambiamento tra stati successivi di un evento e alle leggi di natura implicate nella sua descrizione.

# Il tempo nella scuola

- Gli studenti di origine europea posseggono una visione del tempo molto più formale, vicina ai paradigmi della fisica classica (tempo come *chronos*), newtoniana ed einsteniana, mentre la medesima indagine condotta su studenti africani evidenzia una concezione del tempo più vicina ad idee aristoteliche (tempo come *kairòs*) (Lemmer & al., 1999).
- Pertanto, anche rimanendo nell'ambito delle sole scienze fisiche, è già possibile individuare a questo punto un primo grosso **nodo concettuale**: l'integrazione del concetto di tempo con l'acquisizione di adeguati **strumenti di formalizzazione matematica**.
- Un secondo importante aspetto relativo all'approccio al concetto di tempo nell'insegnamento della fisica è direttamente connesso al problema dell'**introduzione di argomenti di fisica moderna nella scuola secondaria**, una delle più alte sfide nel campo dell'educazione scientifica.

Studi e ricerche approfondite dimostrano che gli studenti tendono ad interpretare alcuni concetti e risultati seguendo un approccio piuttosto spontaneo, rifuggendo dall'accettazione dei paradigmi alla base della teoria (Hewson, 1982): ad esempio,

- la contrazione delle distanze e la dilatazione dei tempi vengono interpretati come effetti derivanti dalla percezione, ed
- il valore della velocità della luce viene più comunemente connesso con la proprietà di insuperabilità che con quello di invarianza.

# Il tempo nella scuola

**Costruttivismo** (Orquiza & Villani, 1994):

il processo di apprendimento può essere suddiviso in due fasi:  
l'assimilazione di nuovi concetti e relazioni e la generalizzazione del loro utilizzo (Villani & Arruda, 1998);

il processo di apprendimento non ha luogo semplicemente da un accumulo di conoscenze, ma per mezzo della **sostituzione di idee vecchie con idee nuove** (come nella fase di transizione tra l'esperienza di senso comune e la fisica newtoniana), o con **assimilazione di un dato quadro concettuale all'interno di un sistema più ampio di conoscenze** (come nel salto concettuale tra fisica classica e moderna) (Berenguer, 2000; Hewson, 1981, 1982; Posner & al., 1982).

# Il tempo nella scuola

## Nodi concettuali:

gli studenti sono reticenti ad abbandonare le proprie spontanee e naturali concezioni basate sul **senso comune**, a favore di nuovi concetti implicati dalla fisica relativistica (Hewson, 1982, Villani & Arruda, 1998);

essi incontrano serie difficoltà nel prendere in considerazione nuove idee, o – più in generale – **nuovi scenari concettuali**, che includano i vecchi contesti come loro casi particolari (Berenguer, 2000; Hewson, 1981, 1982; Posner & al., 1982);

non prendono consapevolezza della **tessitura quadridimensionale dello spazio-tempo** (Berenguer, 2000);

l'interpretazione di problematiche quali la **simultaneità** e la **causalità** di eventi nei due contesti – classico e relativistico – non viene adeguatamente connessa agli assunti della teoria della relatività (Berenguer, 2000).

# La natura del tempo

## La relatività del tempo

- Galileo Galilei
- Isaac Newton
- Albert Einstein
  - spazio e tempo non sono più quantità assolute e distinte, ma grandezze intrinsecamente relative;
  - sono gli eventi di interazione tra energia e materia che determinano dimensioni variabili di spazio e tempo nell'universo
- Stephen Hawking

- **Simultaneità di eventi:**

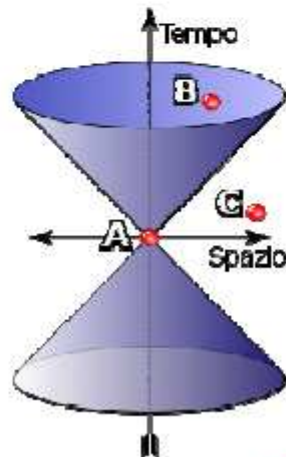
- Eventi che, nello *stesso* punto dello spazio, sono simultanei per un osservatore, lo sono anche per qualsiasi altro osservatore che si muova di **moto uniforme** relativamente al primo.
- Eventi che, in punti *differenti* dello spazio, risultano simultanei per un osservatore *non* sono in generale simultanei per altri osservatori in moto uniforme relativo rispetto al primo osservatore.

- **Causalità:** nello **spazio-tempo galileiano**, la distanza fra due oggetti nello spazio e fra due eventi nel tempo è una quantità assoluta, che non dipende dal sistema di riferimento inerziale in cui è posto l'osservatore. Nella **relatività ristretta**, entrambe queste quantità diventano invece relative. Vi è comunque una "distanza" che non dipende dal riferimento (cioè che non viene modificata da una trasformazione di Lorentz); questa "distanza" fra due eventi  $(x,y,z,t)$  e  $(x',y',z',t')$  è la quantità:

$$d^2 = -c^2(t - t')^2 + (x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2$$

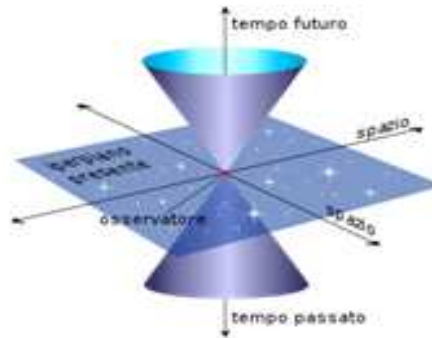
dove  $c$  è la **velocità della luce**. Questo numero reale  $d^2$ , che può essere positivo, negativo o nullo, è la *separazione spazio-temporale* fra i due eventi, o **intervallo**, e non dipende dal riferimento su cui è posto l'osservatore (proprietà di **invarianza**).

Vettori di tipo spazio, di tipo tempo e cono di luce



Il **cono di luce** in una versione tridimensionale dello **spaziotempo di Minkowski**

L'intervallo  $d^2(P, Q)$  fra  $P = (x, y, z, t)$  e  $Q = (x', y', z', t')$  può essere positivo, nullo o negativo: il vettore  $PQ$  è quindi detto rispettivamente di **tipo spazio**, di **tipo luce**, o di **tipo tempo**. I vettori nulli uscenti da  $P$  formano il cosiddetto cono di luce centrato in  $P$ .



Versione tridimensionale dello spaziotempo di Minkowski.

I vettori di tipo tempo uscenti da  $P$  possono essere ulteriormente scomposti in due classi: i vettori *temporali futuri*, la cui componente temporale  $t$  è positiva, e quelli *passati*, con  $t$  negativo. Analogamente, il cono di luce contiene i vettori *nulli futuri*, aventi ( $t > 0$ ), ed i *nulli passati* ( $t < 0$ ).

Il movimento di un oggetto puntiforme è descritto come una curva, con coordinata temporale sempre crescente. Una tale curva è detta **linea di universo**. Poiché tale oggetto non può viaggiare più veloce della luce, in ogni punto il suo vettore tangente è di tipo tempo futuro, o al limite nullo futuro, se l'oggetto viaggia alla velocità della luce.



La **linea di universo** percorsa da un corpo nello spaziotempo di Minkowski. Il corpo non può in nessun istante viaggiare più veloce della luce: la tangente alla curva in ogni punto è quindi sempre un vettore tempo.



# La natura del tempo

IPERTESTO: La matematizzazione del tempo

Fabri, E. (2005)

Il tempo della fisica newtoniana è correttamente descritto dalla retta reale; ciò comporta che ad esso vengano attribuite ben precise proprietà matematiche, che si traducono in corrispondenti proprietà fisiche misurabili. Ad esempio:

- reale;
- unidimensionale;
- illimitato;
- infinito (nel passato e nel futuro);
- lineare;
- aperto;
- orientato;
- continuo;
- assoluto.

Da un punto di vista strettamente matematico, però, le cose potrebbero essere anche diverse. Infatti, il salto concettuale che dalla fisica newtoniana ha portato alla relatività ristretta e generale segue proprio dalla contestazione di alcune delle proprietà matematiche del tempo inteso in senso classico.

# La natura del tempo

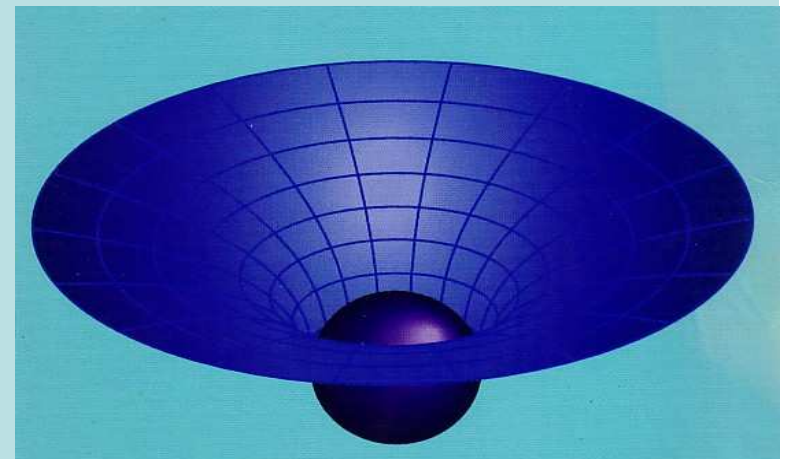
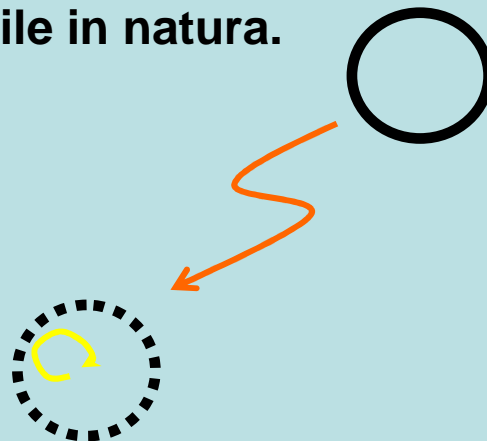
## Velocità di fuga

- la velocità necessaria a sfuggire a un campo gravitazionale

$$v_{\text{escape}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

- la velocità di fuga per la Terra è di 11.2 km/s
- supponiamo di comprimere la Terra entro il raggio di 1 cm: la velocità di fuga diverrebbe  $c = 300,000$  km/s, la **velocità della luce** – la massima velocità possibile in natura.

**ORIZZONTE:**  
l'informazione  
non può uscire  
all'esterno

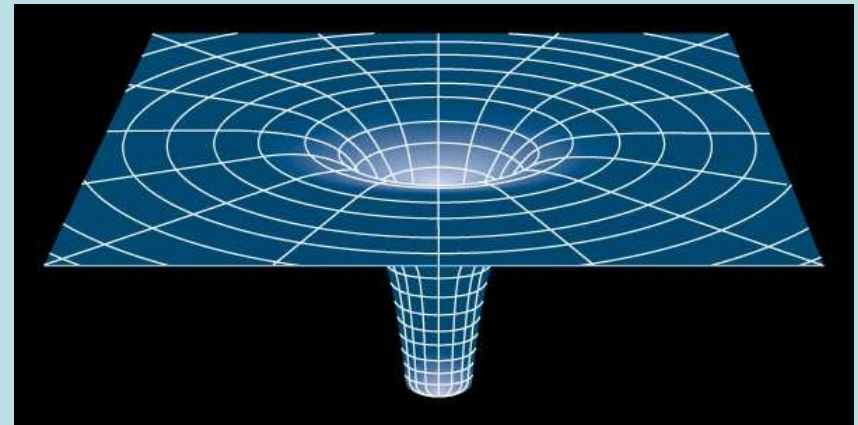
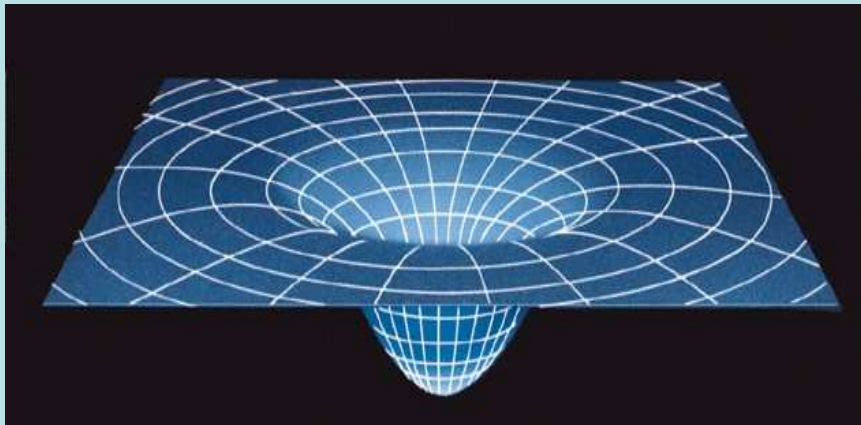


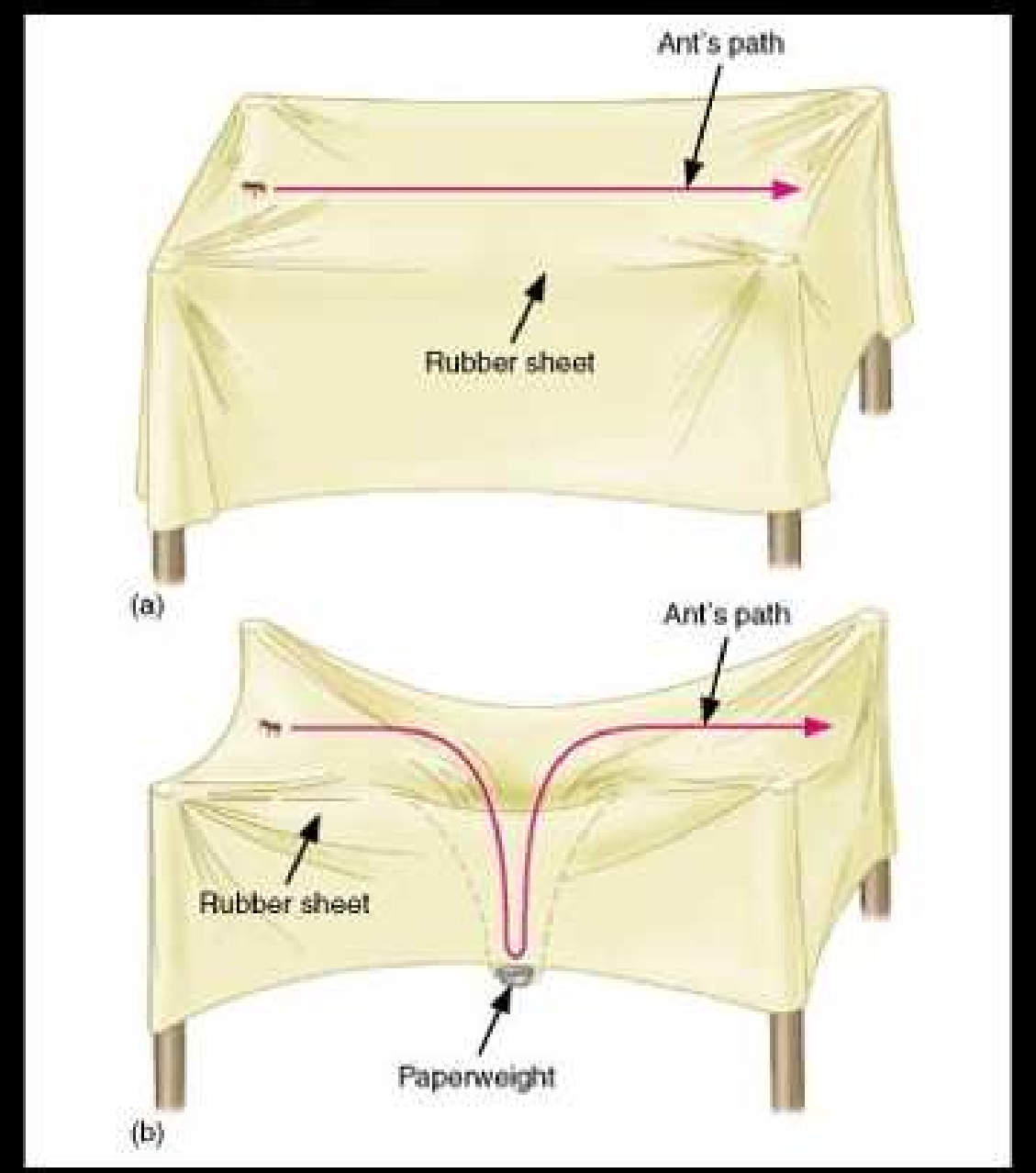
# Buchi neri

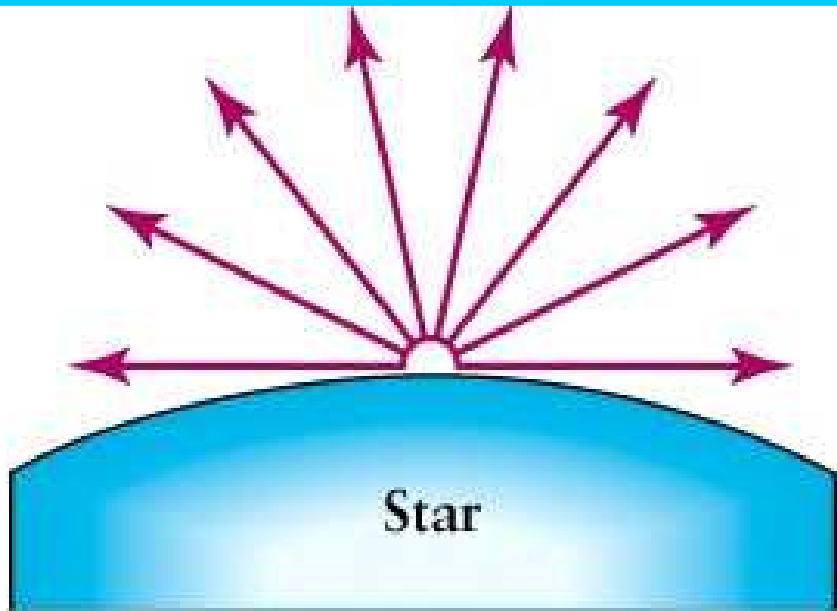
Un oggetto massiccio deforma lo spazio-tempo nelle sue vicinanze. La forza di gravità che percepiamo è il risultato di tale deformazione.

I satelliti si muovono in orbita intorno alla Terra perchè seguono la curvatura dello spazio-tempo causata dalla massa della Terra. Più grande è la massa del corpo, maggiore la curvatura.

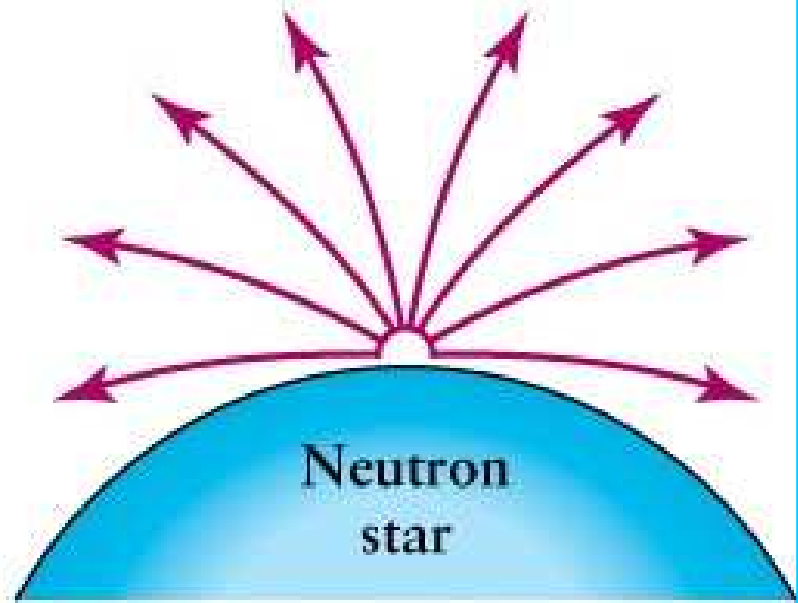
massa >>>



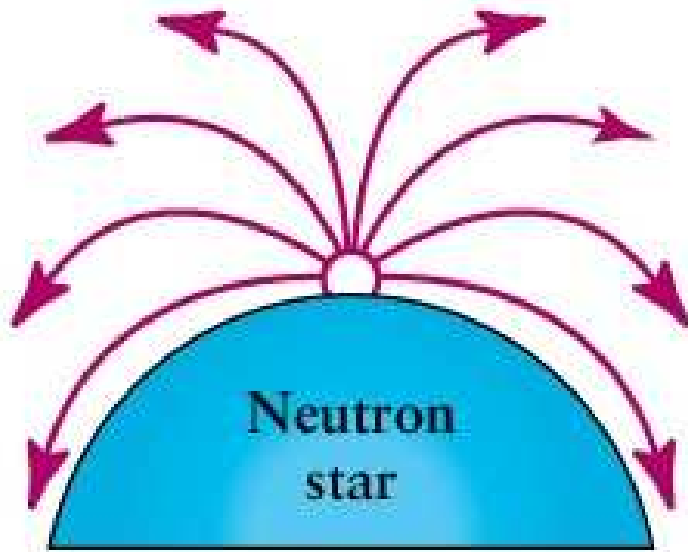




a



b



c

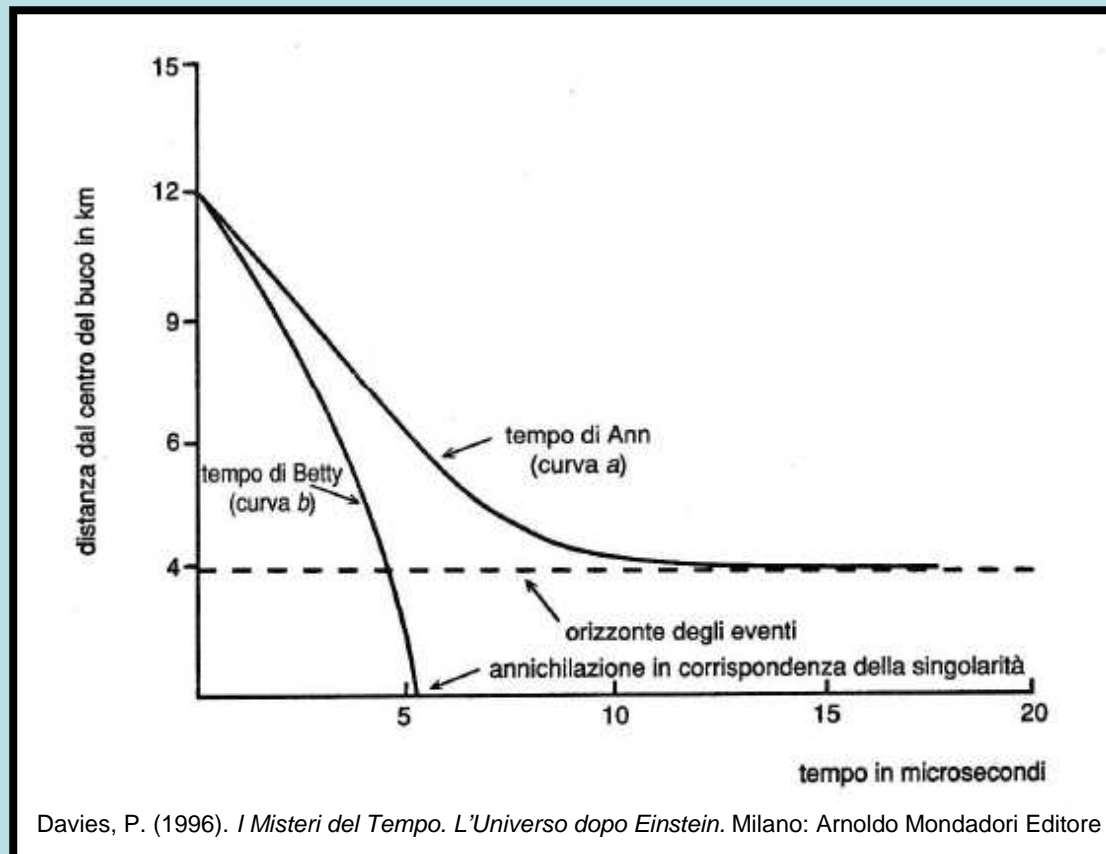


d

# La natura del tempo

## Caduta in un buco nero

redshift gravitazionale



Misurare il tempo,  
dall'astronomia agli orologi

# La comprensione del tempo

## Origine dello spazio-tempo

Ipotesi di Penrose ed Hawking

Quantum Gravity ( $\lambda_P \sim 1,6 \times 10^{-35} \text{ m}$ )

*La teoria della Relatività Generale non contempla il principio d'indeterminazione di Heisenberg, essendo applicabile solamente ad uno spazio-tempo **piano e continuo**.*

Scala delle fluttuazioni quantistiche:

polarizzazione quantistica del vuoto

creazione di coppie particella-antiparticella

# La natura del tempo

***Supersimmetria:*** naturale estensione del modello standard delle particelle elementari

***Supergravità:*** 7 dimensioni spaziali, in uno spazio-tempo a 11 dimensioni

***Teoria delle Stringhe:*** alla natura puntiforme delle particelle elementari della meccanica quantistica viene sostituito il concetto di corde o stringhe

***Teoria delle Superstringhe:*** la teoria più completa attualmente a disposizione per spiegare le fasi iniziali della storia dell'Universo



# La natura del tempo

Schiuma quantistica ( $\lambda_P \sim 1,6 \times 10^{-35} \text{ m}$ ):

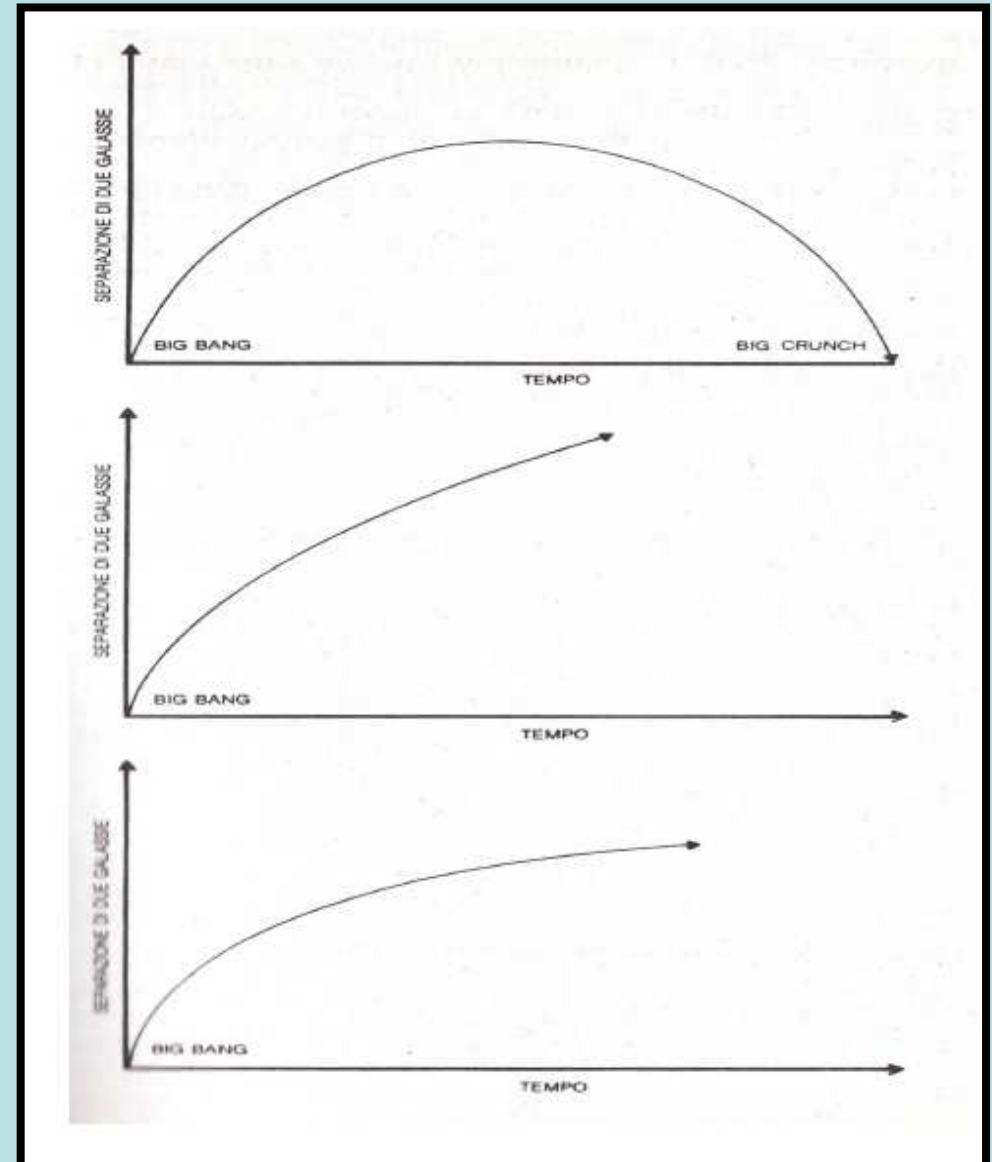
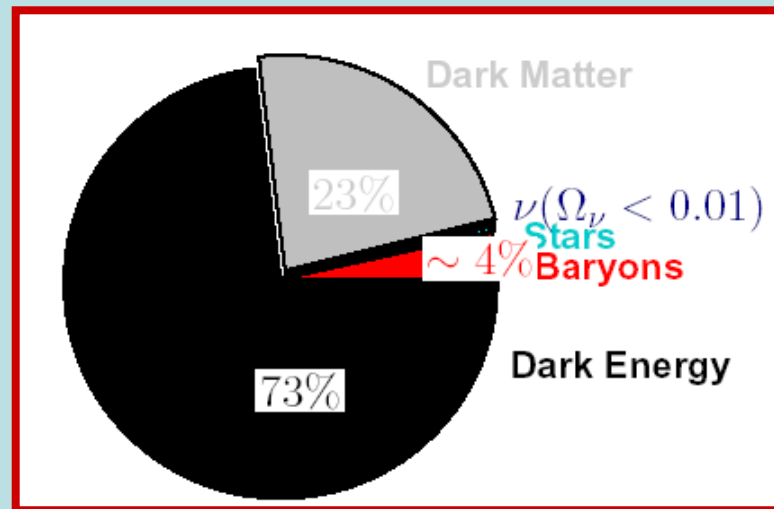
**spazio e tempo sono mescolati,  
esistono infiniti spazi-tempi**

## Il tempo svanisce?

tra le infinite possibilità, evoluzione verso un Universo **possibile...**

# La comprensione del tempo

## Fine dello spazio-tempo



# Bibliografia (1)

1. Berenguer, A., Andrés, R., & Pérez Selles, J.F. (2000). Enseñanza por Cambio Conceptual: de la Física Clásica a la Relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 463–471.
2. Bergia, S. (1990). Strutture e Dimensionalità dello Spaziotempo: Realtà, Modello o Occasione di Formalismo? In F. Selleri and V. Tonini (Eds.), *Dove Va la Scienza: La Questione del Realismo*. Dedalo: Bari.
3. Bergia, S. (1995). Formulari, Interpretazioni, Ontologie: Il Caso delle Teorie Relativistiche. In G. Giuliani (Ed.), *Ancora sul Realismo*. La Goliardica Pavese: Pavia.
4. Bergia, S. (2005). Il Contributo Italiano alla Relatività. Bollettino U.M.I, Sezione A, *La Matematica nella Società e nella Cultura*, Serie VIII, Vol. VIII-A, 261–287.
5. Bisesi, E., & Michelini, M. (2008). Comparative Teaching Strategies in Special Relativity. Contributo alla Conferenza Internazionale *Physics Curriculum Design, Development and Validation – GIREP 2008*, Cipro, 18–22 agosto 2008.
6. Borghi, L., De Ambrosis, A., & Ghisolfi, E. (1993). Teaching Special Relativity in High School, *Third International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Ithaca, New York (pagg. 1–17).
7. Cortini, G., & al. (1977). Iniziativa Relatività: “Vedute Recenti sull’Insegnamento della Relatività Ristretta ad un Livello Elementare”. *Quad. G. Fis.*, II (4), 13.
8. Davies, P. (1996). *I Misteri del Tempo. L’Universo dopo Einstein*. Milano: Arnoldo Mondadori Editore.
9. De Ambrosis, A., & Levrini, O. (2007). Insegnare Relatività Ristretta a Scuola: Esigenze degli Insegnanti e Proposte Innovative. *Giornale di Fisica XLVIII* (4), 255.
10. Einstein, E. (1905). Zur Elektrodynamik Bewegter Körper. *Ann. Phys.*, 17, 891.

# Bibliografia (2)

11. Fabri, E. (1989). *Per un Insegnamento Moderno della Relatività*. Pisa: Tipografia Editrice Pisana.
12. Fabri, E. (2005). Insegnare Relatività nel XXI Secolo. Dal 'Navilio' di Galileo all'Espansione dell'Universo. *La Fisica nella Scuola, Quaderno XVI*.
13. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (1997). *Fundamentals of Physics*. New York: Wiley.
14. Hawking, S. (2008). *L'Universo in un Guscio di Noce*. Verona: Oscar Saggi Mondadori.
15. Hewson, P. W. (1981). A Conceptual Change Approach to Learning Science. *European Journal of Science Education*, 3, 383–396.
16. Hewson, P. W. (1982). A Case Study of Conceptual Change in Special Relativity: The Influence of Prior Knowledge in Learning. *European Journal of Science Education*, 4(1), 61–78.
17. Lemmer, M., Lemmer, T. N., Smit, J. J. A., & Vreken, N. J. (1999). Students' perceptions of time. In *Proceedings of the 1999 European Science Education Research Association* (pag. 1–3).
18. Levrini, O., & di Sessa, A. A. (2008). How Students Learn from Multiple Contexts and Definitions: Proper Time as a Coordination Class. *Physical Review Special Topics, Physics Education Research*, 4, 010107.
19. Matthews, M. R. (1989). History, Philosophy and Science Teaching: A Brief Review. *Syntheses*, 80(1), 1–7.
20. Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York, NY: Routledge.
21. Michelini M. (2004). Quality Development in the Teacher Education and Training, *Girep book of selected papers, RTI* (pag. 127 –132). Udine: Forum.

# Bibliografia (3)

22. Morris, C. (2006). *A psycholinguistic exploration of human individuation of events and the perception of time*. B.A. (Mod.) CSLL Final Year Project.
23. Orquiza, L. C., & Villani, A. (1994). Evolution of Mental Representations about Collisions. In *Proceedings of the International Conference: Science and Mathematics Education for the XXI Century: Toward Innovative Approaches* (pag. 420–426). Chile: Concepción.
24. Piaget, J., & Garcia, R. (1982). *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. Mexico: Siglo XXI Editores.
25. Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. , & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a Scientific Conception: Towards a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66, 211–227.
26. Roschelle, J. (1995). Learning in Interactive Environments: Prior Knowledge and New Experience. In J. H. Falk and L. D. Dierking (Eds.), *Public Institutions for Personal Learning: Establishing a Research Agenda* (pag. 37–51). Washington, DC: American Association of Museums.
27. Saltiel, E., & Viennot, L. (1984). What Do We Learn from Similarities between Historical Ideas and the Spontaneous Reasoning of Students? In P. Lijnse (Ed.), *The Many Faces of Teaching and Learning Mechanics, GIREP Conference of Physics Education* (pag. 189–214). Utrecht.
28. Scherr, R. E. (2006). Modelling Student Thinking: An Example from Special Relativity. *American Journal of Physics*, 75(3), 272–280.
29. Taylor, E. F., & Wheeler, J. A. (1992). *Spacetime Physics*. New York: Freeman and Company.
30. Vicario, G. B. (1997). Il Tempo in Psicologia. *Le Scienze*, Quaderno n. 127.
31. Villani, A., & Arruda, S. M. (1998). Special Theory of Relativity, Conceptual Change and History of Science, *Science and Education*, 7, 85–100.

**GRAZIE**