LA RELATIVITÀ DEL TEMPO

INDICE

VIAGGI NELLO SPAZIO — *1*

UN'IDEA GENIALE — *2*

LA DILATAZIONE DEI TEMPI — *3*

LA DIMOSTRAZIONE — **4**

TRATTAZIONE MATEMATICA — *7*

STUDIO DELLA FUNZIONE $\gamma(v)$ — **7**

COOPER E MURPHY — *14*

EMPIRISMO E SPIRITUALISMO — *16*

LA FILOSOFIA DI HENRI BERGSON — **16**

TEMPO E DURATA — 16

È POSSIBILE L'INCONTRO TRA METAFISICA E SCIENZA? — **17**

COMPOSIZIONE A UNO O DUE TEMPI? — 18

MUSICA RELATIVISTICA — *21*

DA EINSTEIN A SCHOENBERG — **21**

ALTERAZIONI DEL FLUSSO REGOLARE DEL METRO — **22**

CONCLUSIONE — *24*

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 - FENOMENO OSSERVATO DA O 4

FIGURA 2 - FENOMENO OSSERVATO DA O' 5

FIGURA 3 - TRIANGOLO RETTANGOLO 5

FIGURA 4 - VISUALIZZAZIONE DELLO STUDIO DI FUNZIONE SUL GRAFICO 12

FIGURA 5 - GRAFICO CON APPROSSIMAZIONE C =3 12

FIGURA 6 - GRAFICO CON $c=3\cdot10^8$ 13

FIGURA 7 - ANDAMENTO ASINTOTICO DELLA FUNZIONE 13

FIGURA 8 - MATERIA E MEMORIA DI BERGSON 19

FIGURA 9 - IL GRAFICO SPAZIO - TEMPO DI MINKOWSKI 19

FIGURA 10 - ESEMPIO DI FORMA INVERSA NEL SISTEMA DODECAFONICO 22

FIGURA 11 - PRELUDIO DAL "TRISTANO E ISOTTA" DI RICHARD WAGNER 23

FIGURA 12 - "AMERICA", DA "WEST SIDE STORY", DI LEONARD BERNSTEIN 23

FIGURA 13 - INDISCUSSA RELATIVITÀ DEL TEMPO 24

«[Dando un orologio da polso a Murphy] Uno per te, uno per me. Quando starò lassù nell'ipersonno o viaggiando quasi alla velocità della luce o vicino a un buco nero il tempo cambierà per me e andrà molto più lento. Quindi quando tornerò, Murphy, li confronteremo. […] Chi può dirlo? Magari quando sarò tornato io e te avremo la stessa età.» (Cooper)

- INTERSTELLAR

VIAGGI NELLO SPAZIO

Il film *Interstellar*, diretto nel 2014 da Christopher Nolan, tratta ampiamente del tempo e della sua relatività. In particolare, la trama è incentrata su un viaggio spaziale alla ricerca di nuovi pianeti abitabili: la Terra sta diventando ostile all'uomo e i migliori scienziati prevedono che nel giro di due generazioni tutto il genere umano si sarà estinto.

Protagonisti indiscussi della storia sono l'astronauta Cooper e sua figlia dodicenne, Murphy. Dalla partenza di Cooper fino al suo ritorno sulla Terra, per lui saranno passati solamente due anni, certo pieni di peripezie e scontri con buchi neri ma… per Murphy saranno passati ben novantadue anni. Vediamo come la relatività di Einstein può venirci in aiuto nella risoluzione di questo strambo rompicapo.

Un'idea geniale

Albert Einstein postulò, nel 1905, la *teoria della relatività ristretta (speciale)* con la quale si occupò di descrivere i fenomeni che avvengono ad alte energie e con velocità prossime a quelle della luce. Questa teoria nacque in risposta alle contraddizioni tra la meccanica classica newtoniana e l'elettromagnetismo di Maxwell: quest'ultimo, infatti, aveva scoperto che la velocità della luce, c, fosse costante in tutti i sistemi di riferimento, a prescindere dalla loro velocità relativa; questo entrava chiaramente in contrasto con le trasformazioni di Galileo, per le quali sarebbe variata anche la velocità della luce.
Il sospetto gettato da questa diatriba, dunque, venne risolto dai due postulati della relatività ristretta di Einstein:

1. **Principio di relatività**: le leggi secondo cui variano gli stati di un sistema fisico non dipendono dal fatto di essere riferite all'uno o all'altro di due sistemi di coordinate in moto relativo uniforme;
2. **Costanza della velocità della luce**: un raggio di luce si muove in ogni sistema di riferimento inerziale con la stessa velocità c, sia che venga emesso da una sorgente fissa sia che questa sia in movimento.

Da questi due postulati, dunque, si disintegrarono le concezioni di spazio e tempo assoluti, arrivando a concepire i due concetti *relativisticamente*.

LA DILATAZIONE DEI TEMPI

Uno dei primi risultati della relatività fu la *dilatazione dei tempi*.
Il ragionamento che portò a tale conclusione partì dal concetto della *relatività della simultaneità*: **due eventi che risultano simultanei in un dato sistema di riferimento non lo sono in un altro, in moto rispetto al primo**.
Questo portò Einstein a pensare che anche la durata dei fenomeni potesse essere relativa al sistema di riferimento considerato, e riuscì a verificarlo grazie ai suoi famosissimi *gedankenexperiment*, o esperimenti mentali. Egli, in tal modo, postulò: **la durata di un fenomeno, ossia l'intervallo di tempo tra i due eventi che ne segnano l'inizio e la fine, risulta minima quando è misurata in un sistema di riferimento inerziale S rispetto al quale i due eventi accadono nella medesima posizione**.
Innanzitutto, bisogna chiarire che un sistema di riferimento inerziale è un sistema di osservazione in cui vale la prima legge della dinamica (quindi per un corpo in moto rettilineo uniforme).
Nella formula

$$\Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\Delta t$$

Δt è l'intervallo di tempo proprio (*tempo minimo*), ossia la durata del fenomeno nel sistema di riferimento solidale con esso (cioè il sistema in cui avviene il fenomeno stesso). $\Delta t'$ è invece la durata del fenomeno in un sistema di riferimento non solidale con esso, in cui è come se il tempo scorresse più lentamente, in quanto la durata si dilata. Vediamone la dimostrazione.

LA DIMOSTRAZIONE

Consideriamo un osservatore O posto su un'automobile, che abbia a disposizione un orologio collegato ad una sorgente e ad un sensore di luce. Se, ad un certo istante, la sorgente emette un lampo luminoso in direzione perpendicolare ad uno specchio posto a distanza d dall'auto, il lampo si riflette e torna verso il punto della sorgente. Quando il sensore di luce rileva il ritorno, ferma l'orologio che segna lo scorrere del tempo per il fenomeno, e si segna una durata Δt.

Dato che la luce si muove di moto rettilineo uniforme, per determinare il valore di Δt si può recuperare la formula del moto rettilineo uniforme:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \qquad \text{da cui} \qquad \Delta t = \frac{\Delta s}{v}$$

Si considera la velocità pari a quella della luce ($v = c$) e lo spazio percorso come andata e ritorno della luce, ossia il doppio della distanza che separa l'auto dallo specchio ($\Delta s = 2d$). Allora,

$$\Delta t = \frac{2d}{c}$$

Δt, dunque, corrisponde alla durata dell'intero fenomeno (emissione e ricezione del lampo di luce) da parte di un osservatore solidale con il fenomeno.

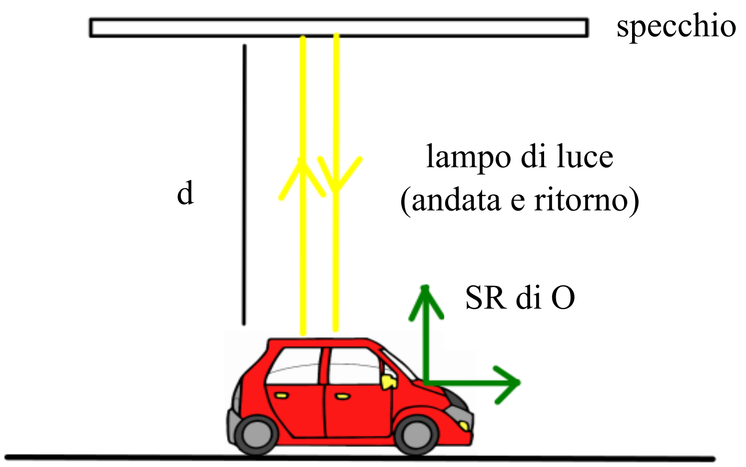

Figura 1 - fenomeno osservato da O

Se però si considera un osservatore O' non solidale con il SRI considerato, bensì esterno ad esso (per esempio, un osservatore che da terra osserva il fenomeno che si svolge sull'auto) si può facilmente dimostrare che, per lui, il tempo risulta *dilatato*, di un fattore γ.

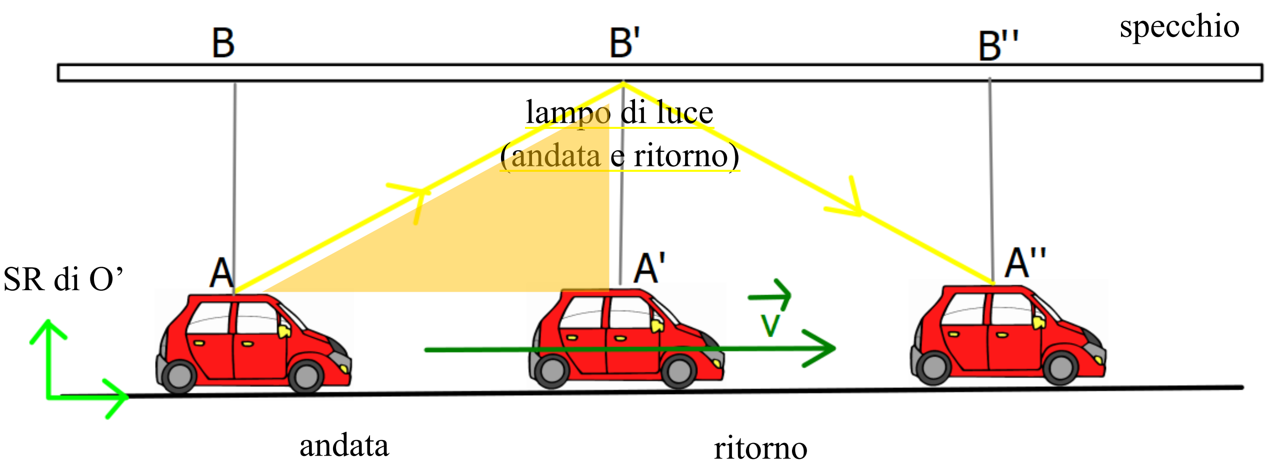

Figura 2 - fenomeno osservato da O'

Infatti, se si considera il triangolo $AA'B'$, rettangolo in A'

Figura 3 - triangolo rettangolo

si possono esprimere le distanze in funzione di *c*, di *v*, di Δt e di Δt':

- $AA' = \frac{v\Delta t'}{2}$ perché rappresenta lo spazio percorso dall'auto in metà della durata intera del fenomeno per un osservatore esterno;
- $A'B' = \frac{c\Delta t}{2}$ perché è lo spazio di sola andata che la luce percorre dall'auto allo specchio, per O;
- $AB' = \frac{c\Delta t'}{2}$ perché è lo spazio percorso dalla luce nel periodo di sola andata (quindi metà dell'intera durata del fenomeno) per O'.

Allora, sfruttando il *teorema di Pitagora* (per il quale **il quadrato dell'ipotenusa in un triangolo rettangolo è uguale alla somma dei quadrati degli altri due lati**), si trova che:

$$(AB')^2 = (A'B')^2 + (AA')^2$$

$$(\frac{c\Delta t'}{2})^2 = (\frac{c\Delta t}{2})^2 + (\frac{v\Delta t'}{2})^2$$

$$\frac{c^2\Delta t'^2}{4} = \frac{v^2\Delta t'^2}{4} + \frac{c^2\Delta t^2}{4}$$

$$c^2\Delta t'^2 = v^2\Delta t'^2 + c^2\Delta t^2$$

spostando $v^2\Delta t'^2$ al primo membro e raccogliendo $\Delta t'^2$ si ottiene

$$(c^2 - v^2)\Delta t'^2 = c^2\Delta t^2$$

ed esplicitando $\Delta t'$ per formula inversa

$$\Delta t' = \sqrt{\frac{c^2}{c^2 - v^2}}\Delta t$$

Se si manipola, dividendo per c^2 numeratore e denominatore, il termine $\sqrt{\frac{c^2}{c^2-v^2}}$

si ottiene $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

e quindi $\Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\Delta t$

denominando, infine, $\beta = \frac{v}{c}$

si ottiene il *fattore di Lorentz* $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$

dunque $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

e, in ultimo

$$\Delta t' = \gamma\Delta t \quad [1]$$

TRATTAZIONE MATEMATICA

Il fenomeno è governato, matematicamente, dall'equazione [1]

$\Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\Delta t$

dove $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

La funzione $\gamma(v)$ è di fondamentale importanza per la descrizione del fenomeno fisico, ed è possibile studiarla per comprendere il suo andamento e le relazioni che intercorrono tra v e c.

STUDIO DELLA FUNZIONE $\boldsymbol{\gamma(v)}$

1) Classificazione

La funzione $\gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ è una funzione *algebrica, irrazionale, fratta.*

2) Dominio

Il dominio lo si trova a partire dalle condizioni di esistenza del radicale. Ogni radicale, infatti, esiste se il suo argomento è non negativo. In questo caso, però, il radicale si trova al denominatore, e ulteriore condizione di esistenza è che il denominatore sia diverso da zero. Dunque, l'argomento del radicale deve semplicemente essere positivo:

$$\begin{cases} 1-\dfrac{v^2}{c^2} \geq 0 \\ \sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}} \neq 0 \end{cases} => 1-\frac{v^2}{c^2} > 0$$

Se $\quad 1-\frac{v^2}{c^2} > 0$ allora, per minimo comune multiplo, $\quad \frac{c^2-v^2}{c^2} > 0$

- NUMERATORE: $c^2 - v^2 > 0;\ v^2 - c^2 < 0; (v+c)(v-c) < 0;$

  $$-c < v < c$$

- DENOMINATORE: $c^2 > 0$ sempre

Osservazioni:

- ✓ *"c" è un valore non raggiungibile; la velocità relativa di due corpi non può mai superare la velocità della luce c (in modulo), proprio per le condizioni di esistenza stesse del radicale, presente nella formula;*
- ✓ *dalla prima, segue che $\beta < 1$, quindi $\gamma > 1$ sempre, portando alla dilatazione del tempo.*

3) Simmetrie

Per scovare eventuali simmetrie, è sufficiente trovare $\gamma(-v)$ e verificare che la funzione sia *pari*, se $\gamma(-v)$ = $\gamma(v)$, o *dispari*, se $\gamma(-v)$ = - $\gamma(v)$.

$$\gamma(-v) = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{(-v)^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma(v)$$

Avendo dimostrato che $\gamma(-v)$ = $\gamma(v)$, possiamo concludere che la funzione è *pari*, e dunque è simmetrica rispetto all'asse verticale (retta v = 0).

4) Punti di intersezione con gli assi cartesiani

- Intersezione con l'asse verticale:

$$\begin{cases} \gamma(v) = \dfrac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ v = 0 \end{cases} => \gamma(0) = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{0^2}{c^2}}} = 1$$

Di conseguenza, il punto **A (0;1)** appartiene al grafico della funzione $\gamma(v)$ ed è il suo punto di intersezione con l'asse verticale.

- Intersezione con l'asse orizzontale:

$$\begin{cases} \gamma(v) = \dfrac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ \gamma(v) = 0 \end{cases} => 0 = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; 1 \neq 0$$

Di conseguenza, non ci sono punti di intersezione con l'asse orizzontale (retta $\gamma(v)$=0).

5) Segno della funzione

Per studiare il segno della funzione, è necessario vedere dove essa è positiva.

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} > 0$$

- NUMERATORE: $1 > 0$ sempre;
- DENOMINATORE: $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} > 0$ sempre per le condizioni di esistenza della radice quadrata, dunque per $-c < v < c$

Segue che la funzione è sempre positiva per ogni valore di *v* appartenente al dominio della funzione, quindi si trova sempre al di sopra dell'asse orizzontale.

6) Comportamento agli estremi del dominio e asintoti

Per studiare il comportamento agli estremi del dominio della funzione, bisogna vedere cosa accade nei punti $\pm c$.

$$\lim_{v \to \pm c} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = +\infty$$

Come risulta dallo studio del limite della funzione per $v \to \pm c$, la funzione cresce ad infinito nei punti di estremo del dominio $\pm c$. Segue che $v = \pm c$ rappresentano gli asintoti verticali della funzione.

Se, piuttosto, si studiasse $\lim_{v \to v_0} \gamma(v)$ per $v_0 \ll c$, si avrebbe

$$\lim_{v \to v_0} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \cong 1^{(I)}$$

Osservazioni:

- ✓ *per la [1], $\Delta t' \to \infty$; a velocità relativistiche ($v \to c$), il tempo si dilata all'infinito, fino al punto in cui, se $v = c$, si ferma;*

- ✓ [I] *il rapporto* $\frac{v}{c} \to 0,\ \gamma \to 1,$ *e le trasformazioni di Lorentz, che regolano la relatività, sarebbero quelle di Galileo, in quanto, sempre per la [1],* $\Delta t' \cong \Delta t$.

Per cercare asintoti orizzontali, si dovrebbe studiare il limite della funzione a $\pm\infty$, ma dato che il dominio è ristretto a]-*c; +c*[, e non è]-∞; $+\infty$[è impossibile che ci siano asintoti orizzontali:

$$\lim_{v\to\pm\infty} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \nexists v \in D$$

Infatti, come si vede, non esistono asintoti orizzontali, perché se $v \to \pm\infty$ l'argomento della radice diventa negativo. Per lo stesso motivo, non possono esistere neppure gli asintoti obliqui.

7) Derivata prima

Lo studio della derivata prima ci permette di trovare i punti di massimo e minimo della funzione, la sua crescenza e decrescenza.

$$\gamma(v) = (1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}}$$

$$\gamma'(v) = -\frac{1}{2}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{-2v}{c^2}\right) = \frac{v}{c^2}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{3}{2}}$$

Per trovare eventuali massimi o minimi della funzione, bisogna porre $\gamma'(v) = 0$.

$$\gamma'(v) = 0$$

$$\frac{v}{c^2}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{3}{2}} = 0$$

$$\frac{v}{c^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^3}} = 0 <=> v = 0$$

L'unica soluzione che soddisfi l'equazione è $v = 0$, dove si trova l'unico punto stazionario. Per capire se tale punto sia un massimo o un minimo, bisogna studiare il segno della derivata prima:

$$\gamma'(v) > 0$$

$$\frac{v}{c^2}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{3}{2}} > 0$$

$$\frac{v}{c^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^3}} > 0 <=> v > 0$$

Perché il numeratore è positivo se *v > 0*, mentre il denominatore lo è sempre, in quanto c'è una radice quadrata, nelle condizioni di esistenza della funzione. Il grafico decresce per *v < 0* e cresce per *v > 0*, quindi il punto A (0;1) è un minimo.

8) Derivata seconda

Attraverso lo studio della derivata seconda, si può vedere se la funzione è concava, $\gamma''(v) > 0$, o convessa, $\gamma''(v) < 0$.

$$\gamma''(v) = -\frac{3}{2} \cdot \frac{v}{c^2} \cdot \left(-\frac{2v}{c^2}\right)\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{5}{2}} = \frac{3v^2}{c^4}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{5}{2}}$$

Studio il segno:

$$\gamma''(v) > 0$$

$$\frac{3v^2}{c^4}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{5}{2}} > 0, \forall v \in D$$

Poiché $\gamma''(v) > 0$, la funzione è convessa.

9) *Grafico*

A questo punto, è possibile tracciare il grafico della funzione:

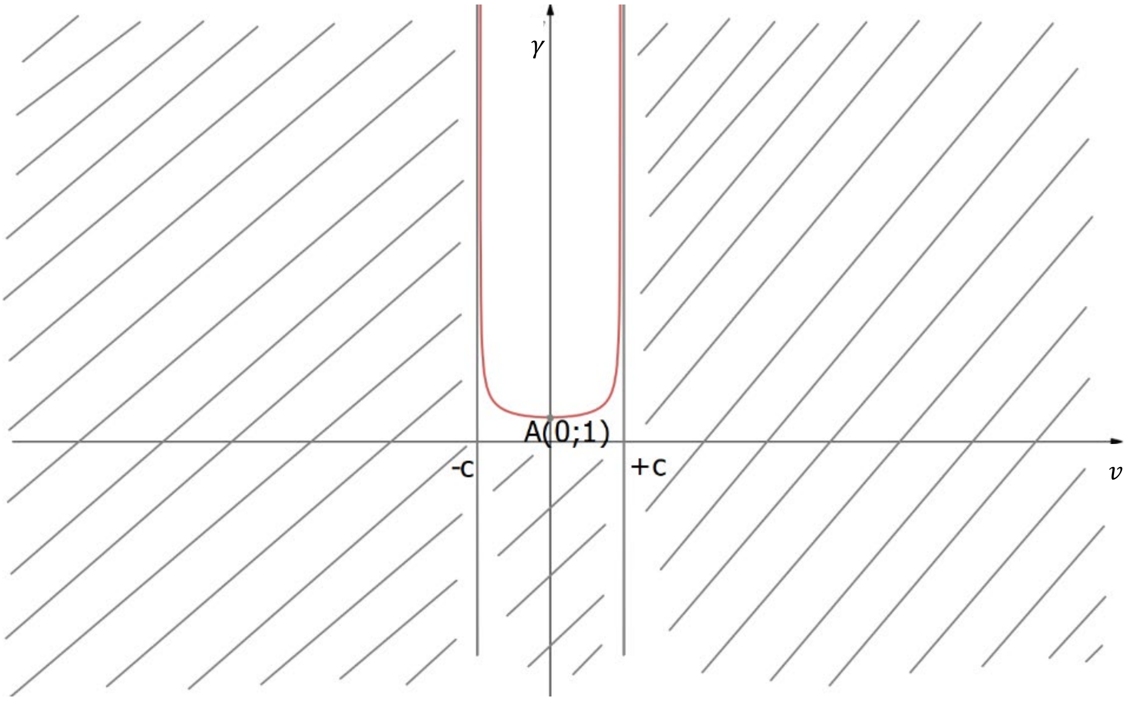

Figura 4 - visualizzazione dello studio di funzione sul grafico

Il grafico che si otterrebbe approssimando il valore di c a 3 è questo, con chiara spiegazione dell'andamento asintotico del grafico della funzione:

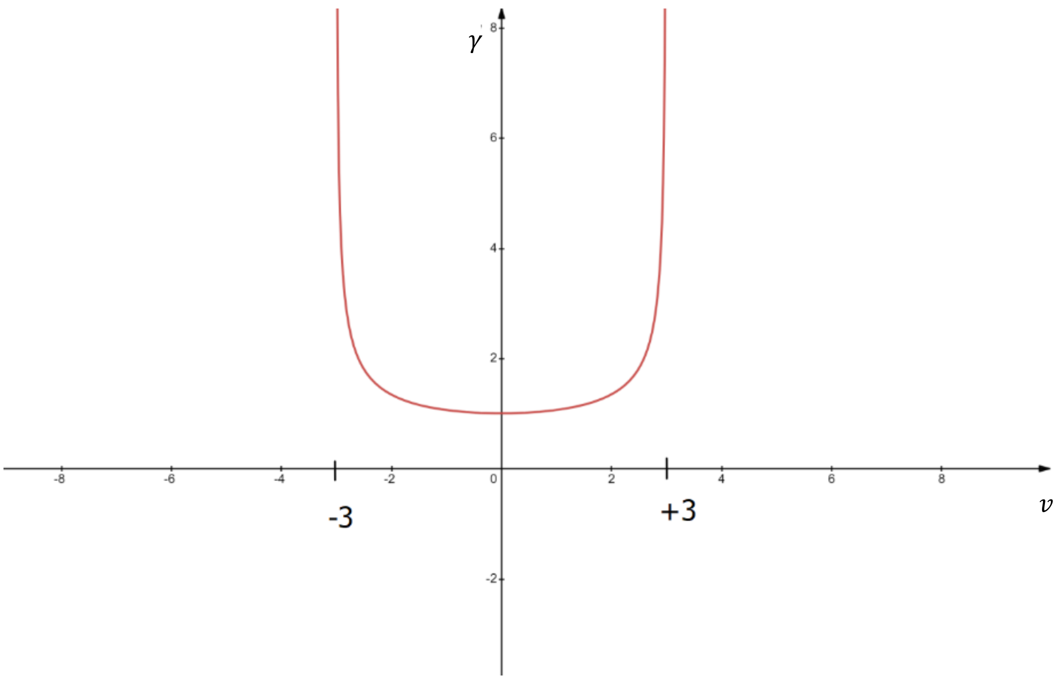

Figura 5 - grafico con approssimazione c =3

Tuttavia, se si mantenesse $c = 3 \cdot 10^8$ si otterrebbe questo grafico:

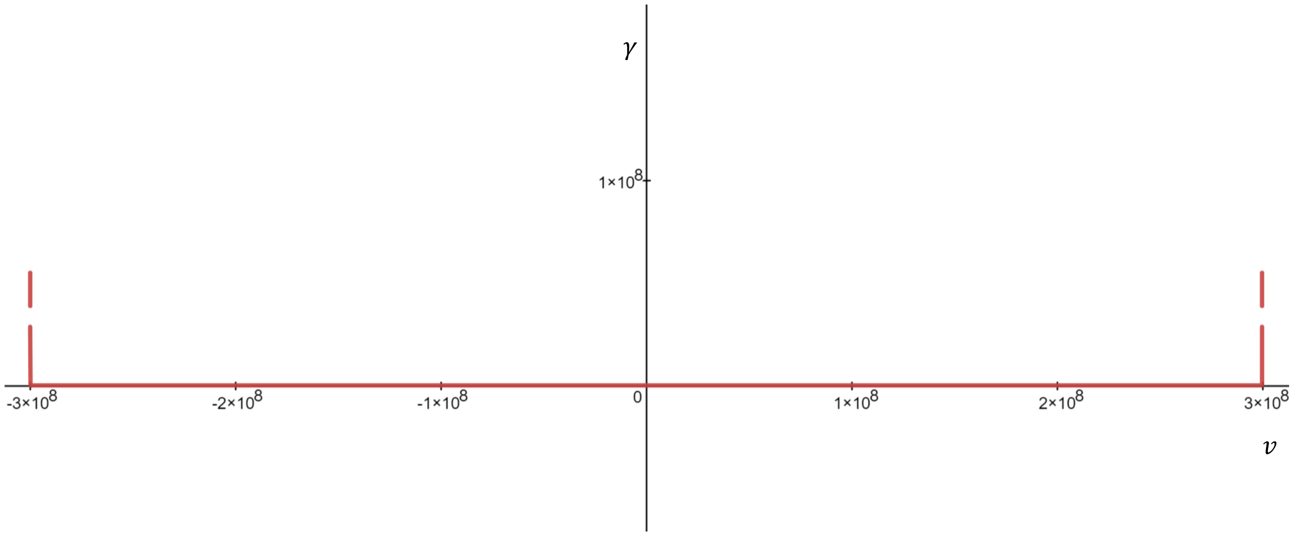

Figura 6 - grafico con c=3·10⁸

E bisognerebbe zoomare molto per osservarne l'andamento asintotico:

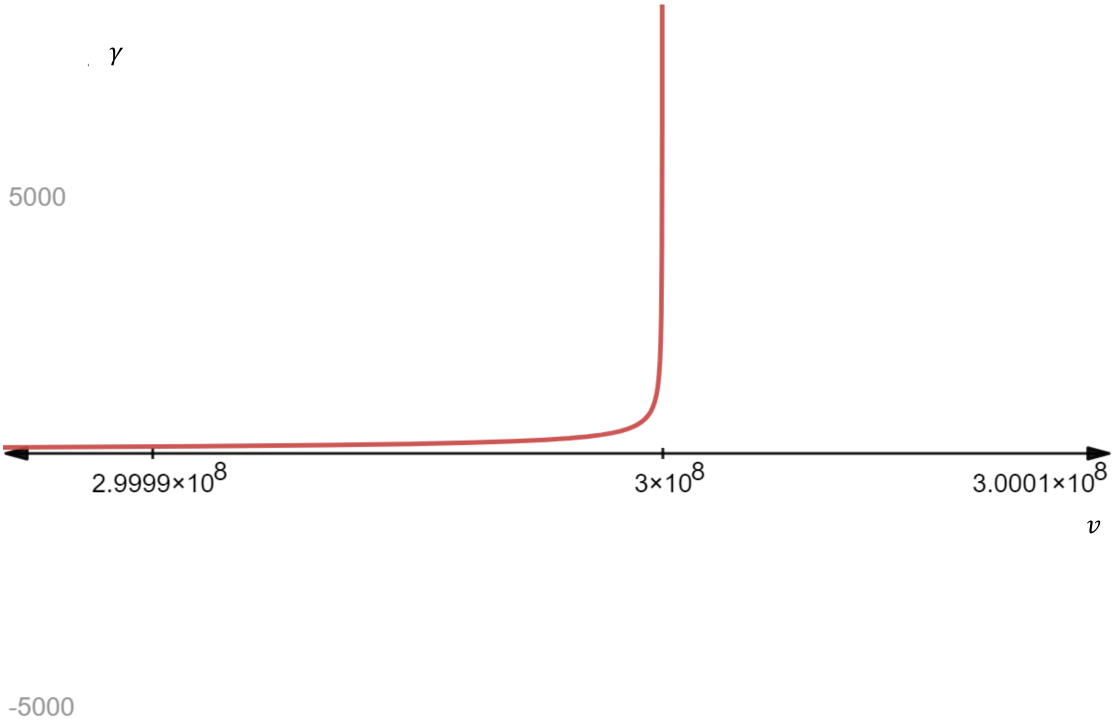

Figura 7 - andamento asintotico della funzione

Ciò sta a significare che per osservare e sentire gli effetti relativistici bisogna "correre" veloci come la luce, e dalle osservazioni matematiche è possibile verificare come <u>il modello matematico spiega e conferma il fenomeno fisico.</u> Diversamente dal modello fisico, però, quello matematico considera anche una parte di funzione non fisicamente accettabile, e cioè quello con velocità negative.

COOPER E MURPHY

Tornando a Cooper e Murphy di *Interstellar*, ora possiamo capire com'è stato possibile che, al ritorno di Cooper sulla Terra, fossero passati novantadue anni, e che la figlia che ricordava dodicenne fosse divenuta ultracentenaria…
Sebbene Cooper avesse fronteggiato un buco nero (e questo abbia rallentato il tempo, secondo la *teoria della relatività generale*) possiamo semplificare la situazione chiedendoci:

- A quale velocità ha dovuto viaggiare l'astronauta Cooper se è tornato sulla Terra dopo novantadue anni, quando per lui ne sono passati soltanto due?

Schematizzando con $\Delta t' = 92\ anni$, $\Delta t = 2\ anni$, possiamo trovare la velocità v:

da $\quad \Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\Delta t \quad$ per formula inversa ricaviamo $\quad v = c\sqrt{1-(\frac{\Delta t}{\Delta t'})^2}$

$$v = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1-(\frac{2}{92})^2} = 299929103\ \frac{m}{s}$$

Cooper dovrebbe aver viaggiato a quasi la velocità della luce, come previsto dalla sua citazione. Il tempo proprio, e minimo, è quello del SRI solidale con il viaggio, ossia la navicella stessa di Cooper, mentre il tempo dilatato del fattore di Lorentz è quello di Murphy.

- Cosa succederebbe se facesse un viaggio alla velocità massima raggiunta da un oggetto volante (il *Solar Parker Probe il 29 aprile 2021*, 532000 km/h), durato sempre due anni?

$\Delta t = 2\ anni$ e $v = 3.6 \cdot 532000\frac{km}{h} = 1915200\frac{m}{s}$

da $\quad \Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\Delta t \qquad \Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{1915200^2}{(3\cdot 10^8)^2}}} \cdot 2 = 2{,}000040757$ anni

Nonostante la velocità sia elevatissima, non è sufficiente a sentire gli effetti relativistici: come dimostrato dal modello matematico, per v<<c (in questo caso di un fattore di 10^2), $\gamma \rightarrow 1$, quindi le due durate sono praticamente uguali.

«Il tempo non è affatto ciò che sembra. Non scorre in una sola direzione, e il futuro esiste contemporaneamente al passato.»

- ALBERT EINSTEIN

EMPIRISMO E SPIRITUALISMO

Nella speculazione sulla relatività, fu inevitabile l'"atteggiamento filosofico" di Einstein che, da scienziato, aderì profondamente all'empirismo. Di diversa opinione fu, però, il filosofo francese Henri Bergson, convinto spiritualista e ideatore di una delle più originali teorie sul tempo. Si tratta di due prospettive realmente inconciliabili? O forse si tratta solamente di diversi approcci, che portano ad una stessa conclusione?

LA FILOSOFIA DI HENRI BERGSON

Il tempo è relativo, così come lo è la percezione dei fenomeni che si svolgono lungo l'asse temporale: il ricordo del passato, l'intuizione del presente e la previsione del futuro sono dimensioni tanto *fisiche* quanto *psichiche*. Per comprendere questa relazione, la speculazione sul tempo ad opera del filosofo francese Henri Bergson è di fondamentale importanza.
Nato a Parigi nel 1859, Bergson forma il suo pensiero all'interno della corrente anti – positivistica, *spiritualista* in particolare. Lo spiritualismo è una forma di reazione al positivismo in cui l'uomo assume la sua stessa interiorità come oggetto d'indagine: si propone di individuare il compito della filosofia nella descrizione dei dati della coscienza e criticando la scienza, cui piuttosto riconosce solamente un compito di approssimazione nella spiegazione dei fatti.

TEMPO E DURATA

Una delle idee più brillanti di Bergson è quella che riguarda la distinzione tra *tempo della scienza* e *tempo della vita*. Il tempo della scienza è costituito di istanti differenziati tra loro in maniera quantitativa, distinti l'uno dall'altro, e di fenomeni reversibili; il tempo della vita, invece, è costituito da istanti differenziati soltanto in maniera qualitativa, costituendo una somma di momenti compenetranti irripetibili. Il tempo della scienza, astratto, esteriore e spazializzato, si chiama semplicemente "tempo", ed assume, per analogia, le fattezze di una collana di perle, in cui, dunque, può essere *discretizzato*; è, pertanto, frutto dell'azione dell'*intelletto*. Il tempo della vita, invece, è concreto e interiore, e per analogia può esser pensato come un gomitolo di filo; prende il nome di "durata" e la sua percezione viene dall'*intuizione*.

Bergson conclude che *senza la coscienza non esiste alcun tempo*, neppure quello della scienza, ossia quello spazializzato. Qualsiasi percezione della temporalità, dunque, esiste solo dal punto di vista psicologico, in quanto l'intuizione è momento fondamentale per l'intelletto, e viene necessariamente prima di quello. In sintesi, l'intelletto astrae concetti a partire da un determinato punto di vista, che è quello fornito dall'intuizione.

È POSSIBILE L'INCONTRO TRA METAFISICA E SCIENZA?

La diatriba tra filosofia e scienza è esistita sin dall'autonomizzazione di quest'ultima dalla prima, nell'ambito della rivoluzione scientifica, contesto in cui il *cogito ergo sum* cartesiano pareva aver risolto la questione. Il dibattito tra Einstein e Bergson fu molto importante per lo sviluppo del problema negli anni successivi, e prese vita il **6 aprile 1922**.

In *Durata e simultaneità* Bergson spiega la teoria secondo la quale non si può percepire alcun tempo senza una coscienza. Egli, infatti, afferma che la relatività della simultaneità si può osservare soltanto grazie ad una coscienza che li percepisca; quando la scienza arriva a delineare lo scarto tra il *tempo relativo* e il *tempo proprio*, per Bergson, sta soltanto proponendo un'astrazione matematica. L'errore della relatività, quindi, non si trova nei calcoli, ma nella sua pretesa di valere come teoria generale, anche metafisica.

«Una volta ammessa la teoria della Relatività in quanto teoria fisica, la cosa non finisce qua. Resta da determinare il significato filosofico dei concetti da essa introdotti, resta da indagare sino a che non rinunci all'intuizione e sino a che punto vi rimanga legata. Resta da prendere in esame cosa è reale e cosa è convenzionale nei risultati cui giunge.»

- H. BERGSON, *Discussione con Einstein, 6 aprile 1922, in Durata e simultaneità*

COMPOSIZIONE A UNO O DUE TEMPI?

Il dialogo del 6 aprile ha rappresentato, per molti, la sconfitta della filosofia e la rinascita della scienza, anche perché di lì in poi Bergson vietò la ripubblicazione della sua opera. Tuttavia, sembra che in questa diatriba possa intravedersi un punto di contatto, e la teoria del filosofo **Deleuze** (1925 – 1995) sembra confermarlo: Bergson non intendeva confutare la teoria della relatività, bensì elaborare una metafisica in accordo con essa.

L'empirismo scientifico di Einstein e lo spiritualismo di Bergson non sono altro che due facce della stessa medaglia, due approcci diversi per giungere ad uno stesso risultato, cioè che il tempo è relativo:

«[…] scienza e metafisica si incontrano, dunque, nell'intuizione: una filosofia veramente intuitiva realizzerebbe l'unione tanto desiderata della metafisica e della scienza […] metterebbe più scienza nella metafisica, e più metafisica nella scienza.»

- H. BERGSON, *Introduzione alla metafisica*

D’altronde, la rappresentazione grafica della *memoria, ricordo* e *percezione* di Bergson ha un che di familiare con il grafico spazio – tempo di Minkowski:

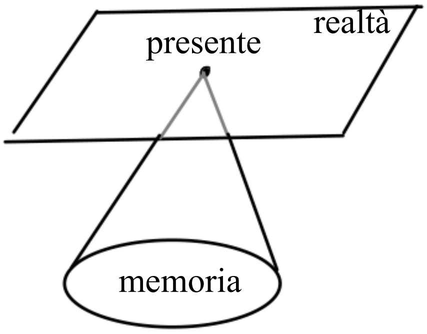

Figura 8 - Materia e memoria di Bergson

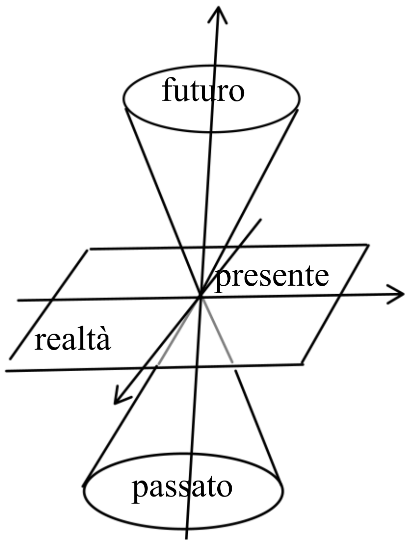

Figura 9 - il grafico spazio - tempo di Minkowski

In *Materia e memoria* Bergson analizza il rapporto tra lo spirito e il corpo: la memoria è la coscienza, che registra tutto ciò che accade e rappresenta il **passato**; il punto del cono, così come l’intersezione con il piano è il **presente**, e l’*intuizione del reale*. Quest’ultima, agisce come filtro che seleziona i dati in vista delle esigenze dell’azione.

Il **ricordo** è la materializzazione in un’immagine di un evento del passato.

Il cono inferiore rappresenta il **passato**, quindi un insieme di ricordi, ossia di *eventi* (e quindi punti nello spazio) tenuti insieme; il cono superiore rappresenta il **futuro**, ossia ciò che seguirà nello scorrere del tempo; l’intersezione con il piano è, invece, il presente e, di nuovo, la percezione del reale, dunque, il famoso *“qui ed ora”* intuito e percepito dalla coscienza.

«La coscienza è il tramite fra ciò che è stato e ciò che sarà, un ponte gettato tra il passato e il futuro.»

- H. BERGSON, *L'evoluzione creatrice*

MUSICA RELATIVISTICA

Dopo una lunga speculazione che va dalla fisica alla matematica, giunge nella filosofia e torna indietro, verrebbe da chiedersi proprio quale sia l'anello mancante del cerchio. La coscienza bergsoniana, che intuisce e percepisce il presente, si ritrova nel "qui ed ora" einsteiniano: la musica è quanto più permette di *intuire* una relatività che si fonda su *regole matematiche* ben espresse.

DA EINSTEIN A SCHOENBERG

Nella crisi di fine Ottocento, una totale rivalutazione dei valori era inevitabile: anche la musica stava subendo una trasformazione. Fino a quel momento, si era basata su rapporti armonici ben definiti, e si appoggiava ad un *sistema di riferimento assoluto*, la tonalità.

Il pioniere della rivoluzione musicale fu **Arnold Schoenberg**: nello stesso periodo in cui Einstein pensava alla relatività ristretta, egli plasmava un sistema di composizione che potesse soppiantare proprio il riferimento tonale, nella prospettiva di realizzare musica non *atonale*, bensì *pantonale*, in cui tutte le note avessero uguale importanza e potessero fungere da piccolo sistema di riferimento *relativo* ad un momento preciso dell'ascolto. Fu la volta della cosiddetta musica seriale, o dodecafonica (composta dei dodici suoni della scala):

«Con [il sistema dodecafonico], la musica è uscita dal mondo di Newton ed è entrata in quello di Einstein.»

- PIERRE BOULEZ

Così, nella nuova musica di Schoenberg, la serie sostituì il tema tradizionale che aveva governato la musica classica per più di trecento anni. Introdotta la serie, le note potevano cambiare la loro posizione secondo delle regole prescritte: con moto retrogrado (a ritroso), con moto inverso (in maniera speculare, dall'alto verso il basso) o addirittura con moto retrogrado dell'inverso. L'altezza delle note, poi, poteva anche essere variata di determinati intervalli:

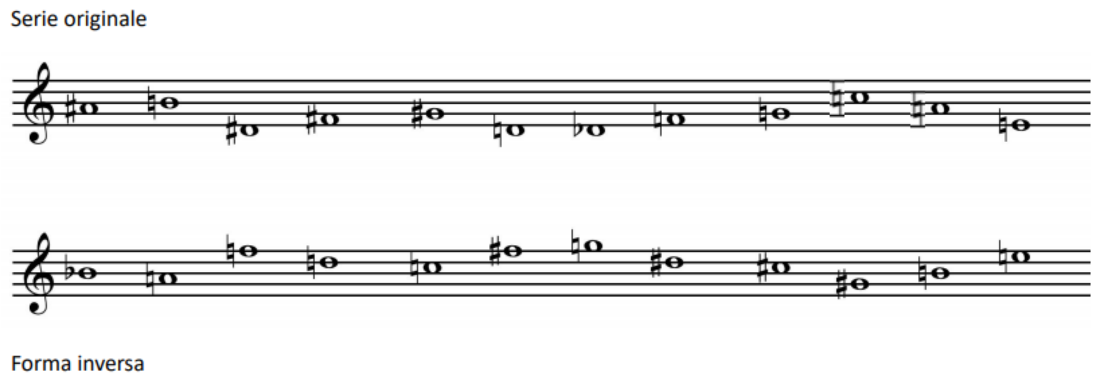

Figura 10 - esempio di forma inversa nel sistema dodecafonico

L'uditore, pertanto, ascoltando questa musica, avverte una perdita di punti di riferimento ed adotta una prospettiva *relativa*, nota per nota.

ALTERAZIONI DEL FLUSSO REGOLARE DEL METRO

Sebbene un brano musicale cominci sempre con un metro espresso, non è raro che questo cambi nel corso del tempo, creando delle alterazioni del suo flusso regolare ben intuibili da chi ascolta: è il caso di *rubato* (con cui si velocizza l'esecuzione), *tempo sospeso* (con cui è impossibile individuare delle pulsazioni), *metro composto* (con il quale ci si trova davanti a due livelli ritmici differenti); non mancano la *sincope* (spostamento di accenti), l'*hemiola* (organizzazione di accenti in contrasto con il metro di base), *poliritmia* e *multimetria* (adozione contemporanea di diversi ritmi o metri). Si tratta di espedienti matematici che causano uno spaesamento in chi ascolta. Esempi importanti sono: il preludio del dramma *Tristano e Isotta* di **Richard Wagner**, la *Sagra della primavera* di **Igor Stravinskij**, *America*, da *West side story*, di **Leonard Bernstein:**

Figura 11 - preludio dal "Tristano e Isotta" di Richard Wagner

Figura 12 - "America", da "West side story", di Leonard Bernstein

CONCLUSIONE

Non esiste un approccio giusto o uno sbagliato all'osservazione della relatività del tempo, in quanto si tratta di un fenomeno che è ben percepibile empiricamente (grazie ai modelli matematici e alle dimostrazioni fisiche che siamo in grado di condurre) ma anche metafisicamente (a seconda del fluire degli attimi per la nostra psiche). La musica è sintesi: ci fa percepire il tempo musicale in maniera diversa, a seconda che il brano ascoltato ci piaccia o meno, ma ciò è anche matematicamente concesso poiché, talvolta, la percezione di un metro è frutto della manipolazione matematica del materiale musicale.

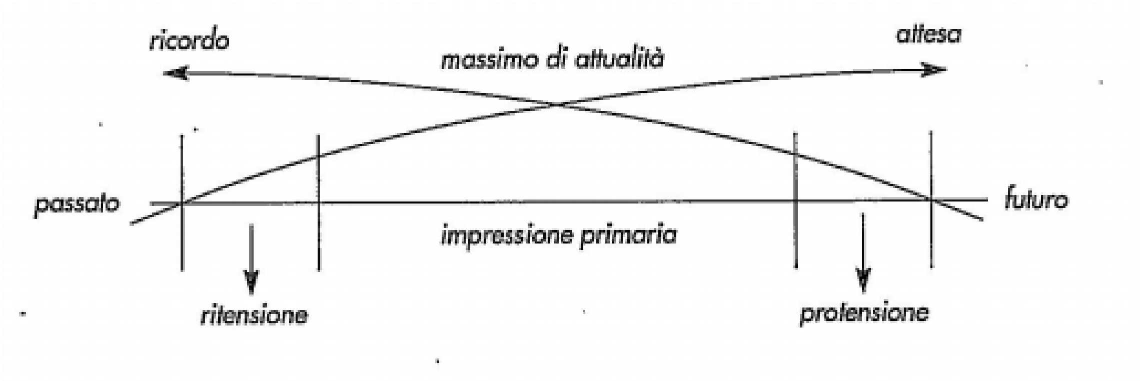

Figura 13 - indiscussa relatività del tempo

«Noi non udiamo i momenti astratti di presenza sonora o i suoni separati; udiamo i suoni nelle loro durate, collegate in una forma sviluppata, e attraverso la mediazione di questa forma (*Gestalt*) percepiamo la melodia come un'entità che si distende costantemente e uniformemente. Questo processo è basato su una presenza dilatata, in cui si può rintracciare l'origine […] della percezione del tempo. […] Un suono appena prodotto è conservato nella memoria viva, e in ciò consiste la ritensione e la protensione, che dilatano il momento della presenza verso l'immediato futuro, e affonda sempre di più nel passato.»

- WITOLD RUDZINSKI, *Il ritmo musicale*

BIBLIOGRAFIA

"Interstellar", film di Christopher Nolan, 2014

C. FIOCCHI, *È tempo di capirsi: Einstein e Bergson*, "Zanichelli online"

A. CAMPO, *6 aprile 1922: Einstein, Bergson e il tempo*, "Doppiozero online"

W. RUDZINSKI, *Il ritmo musicale,* Lucca, LIM editrice, 1993

E. MAOR, *La musica dai numeri*, Torino, Codice edizioni, 2018

U. AMALDI, *Dalla mela di Newton al bosone di Higgs*, Bologna, Zanichelli, 2016

N. ABBAGNANO, G. FORNERO, *La ricerca del pensiero*, Torino, Pearson, 2012

S. PIGHINI, A. VANNUCCI, *Interroghiamo i filosofi*, Treviso, Canova editrice, 1999

P. ROSENBERG, A. SAIGE, *Philosophia*, Roma, Armando Armando, 1998