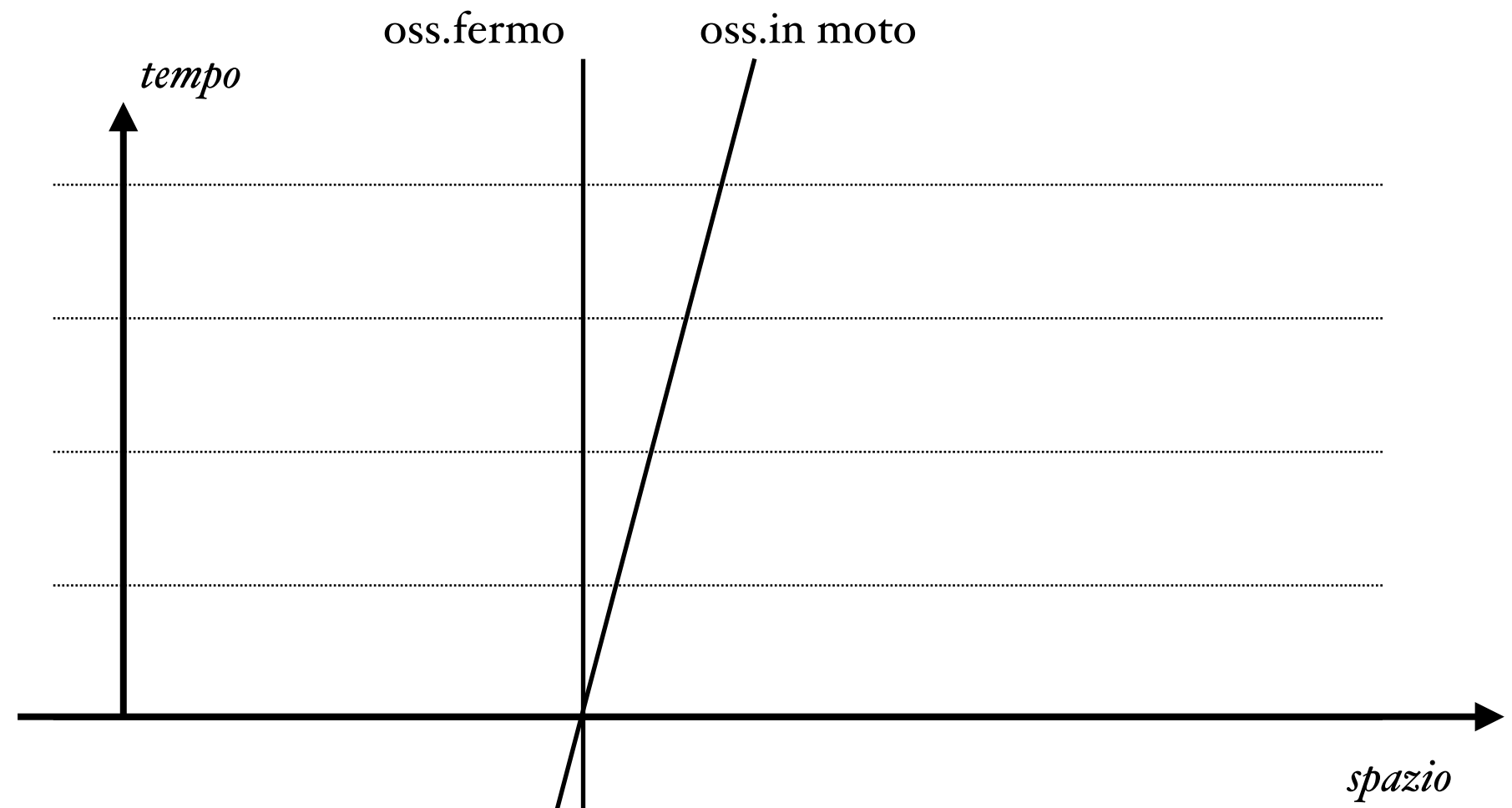


La Natura del Tempo in Fisica Moderna

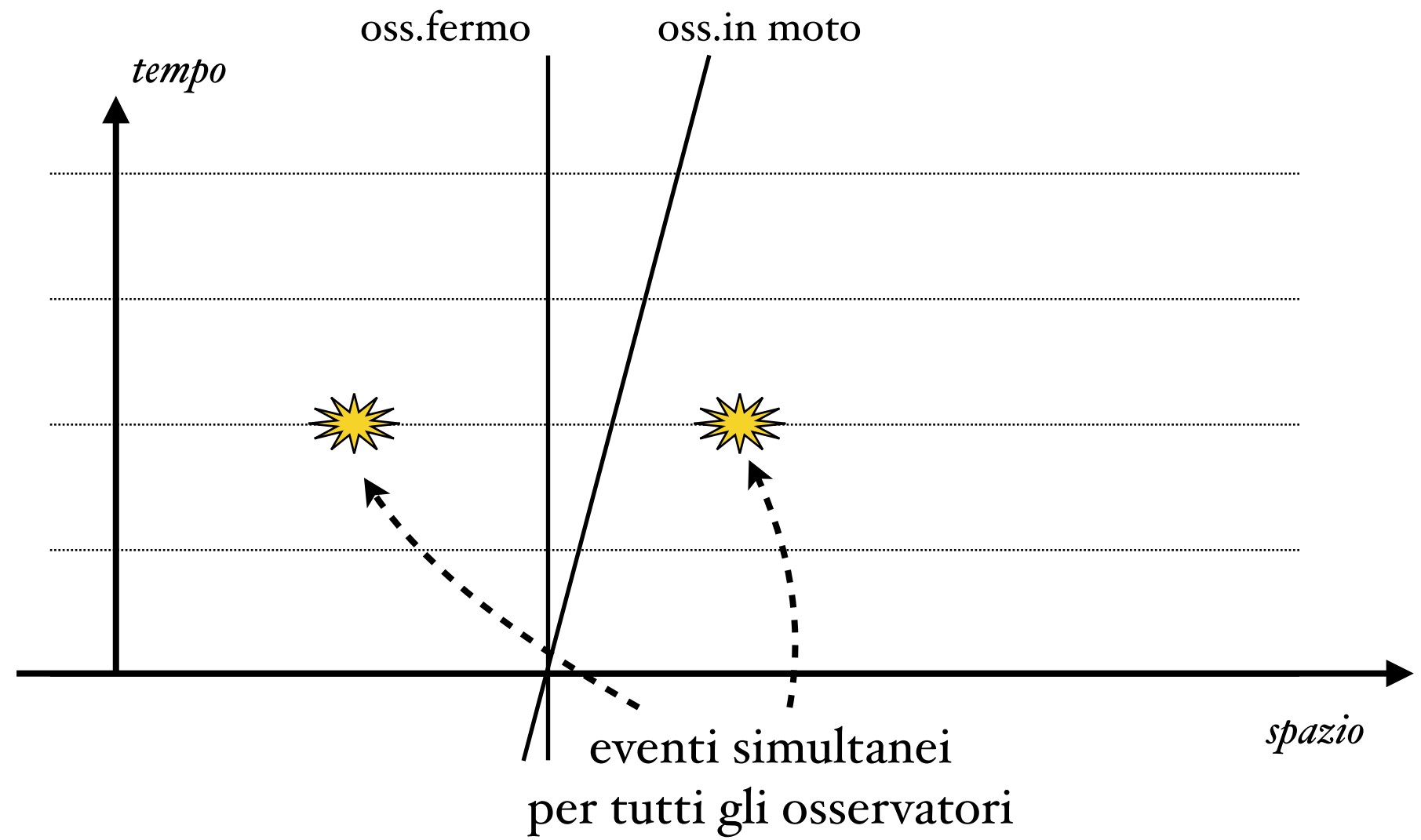
Alessandro Tomasiello

15.2.2017

Tempo in Fisica Newtoniana: “spettatore”

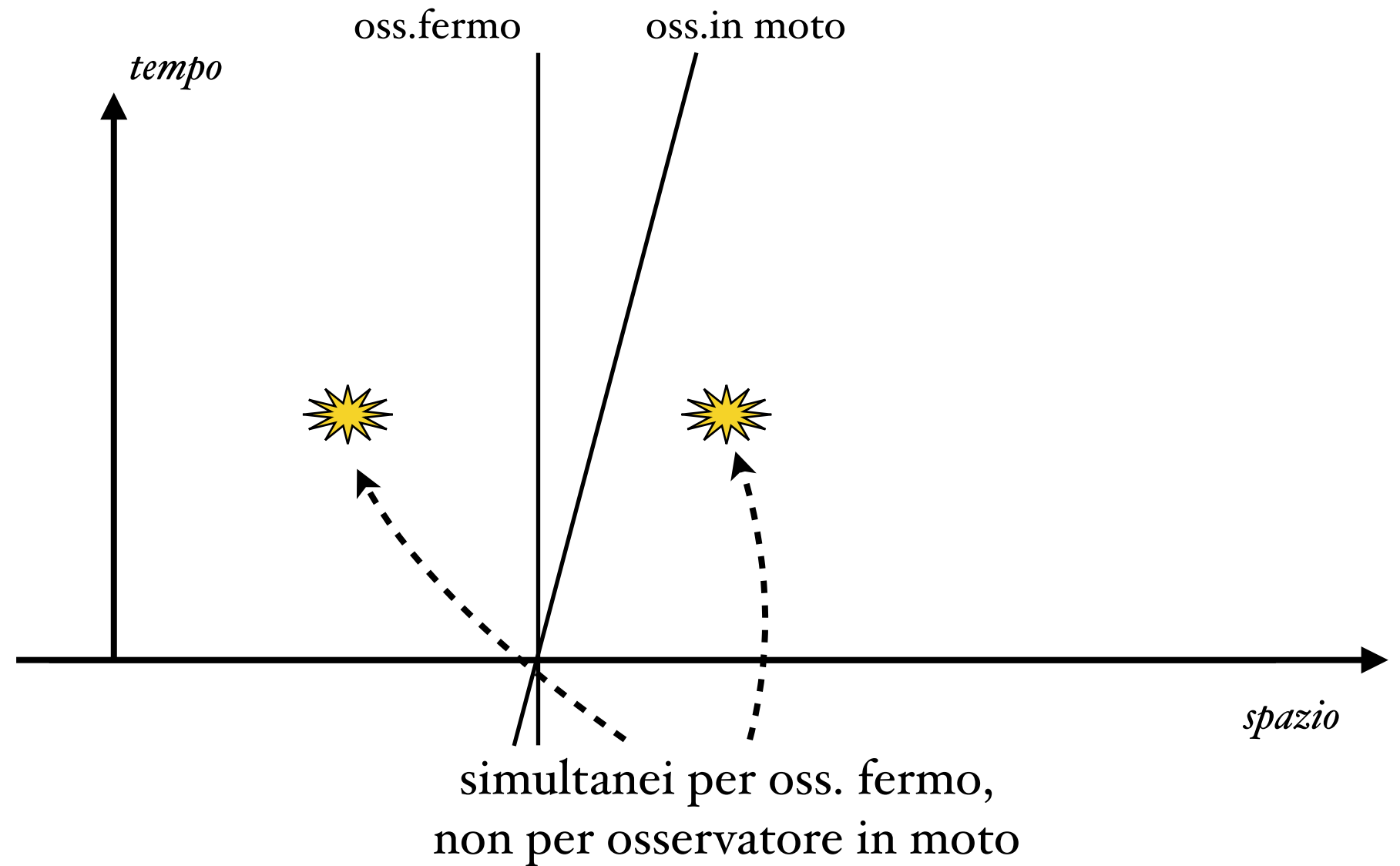


Tempo in Fisica Newtoniana: “spettatore”



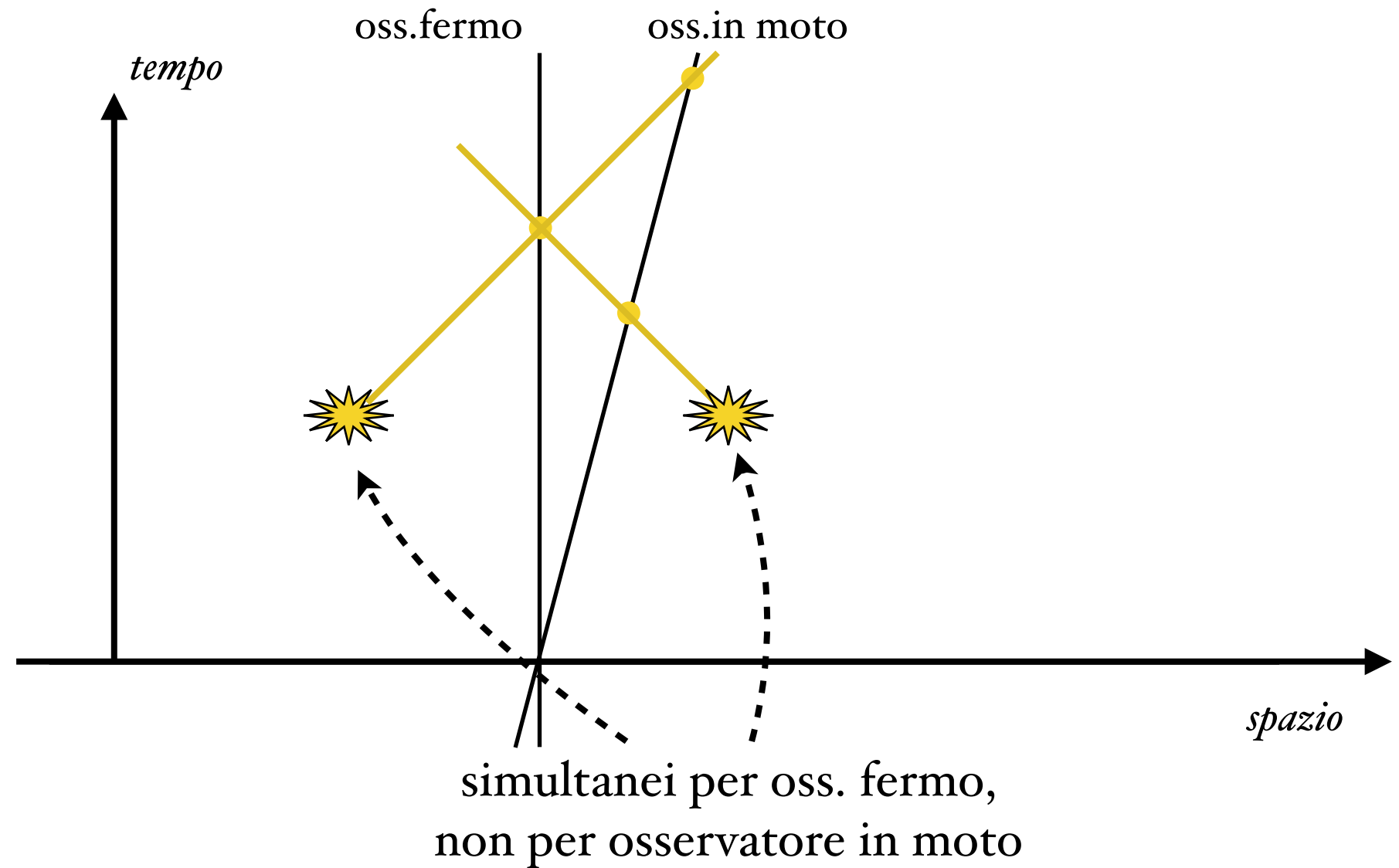
Velocità della luce finita e **uguale per tutti gli osservatori!**

Relatività ristretta: la simultaneità dipende dall'osservatore



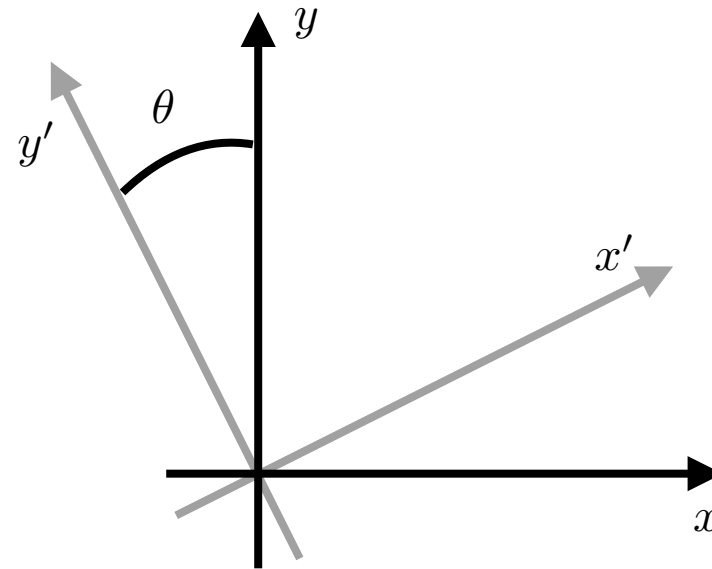
Velocità della luce finita e **uguale per tutti gli osservatori!**

Relatività ristretta: la simultaneità dipende dall'osservatore



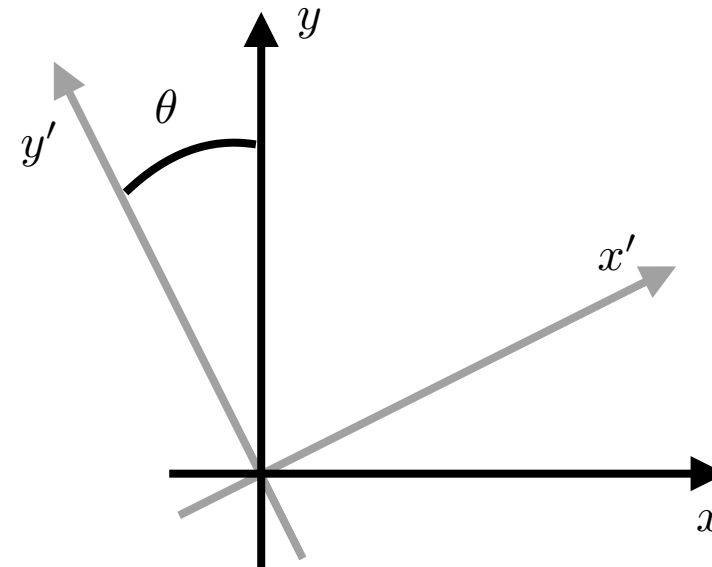
‘Lunghezza’ e ‘larghezza’ si
mischiano ruotando

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



‘Lunghezza’ e ‘larghezza’ si
mischiano ruotando

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



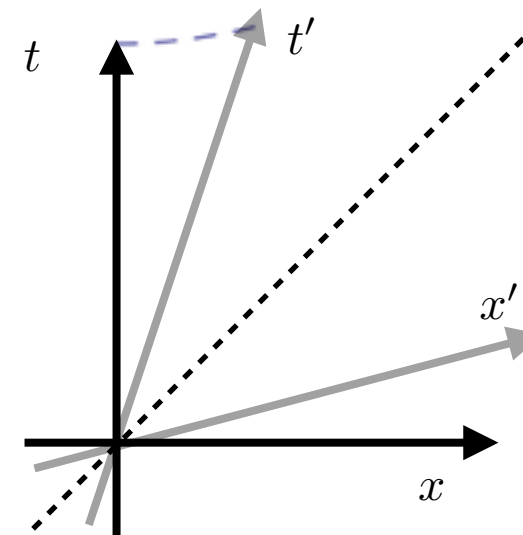
Spazio e tempo si mischiano
cambiando sistema di riferimento

trasformazione di Lorentz

$$\begin{pmatrix} t' \\ x' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \alpha & -\sinh \alpha \\ -\sinh \alpha & \cosh \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ x \end{pmatrix}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}} \quad \parallel \quad \begin{pmatrix} \gamma & -v\gamma \\ -v\gamma & \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ x \end{pmatrix}$$

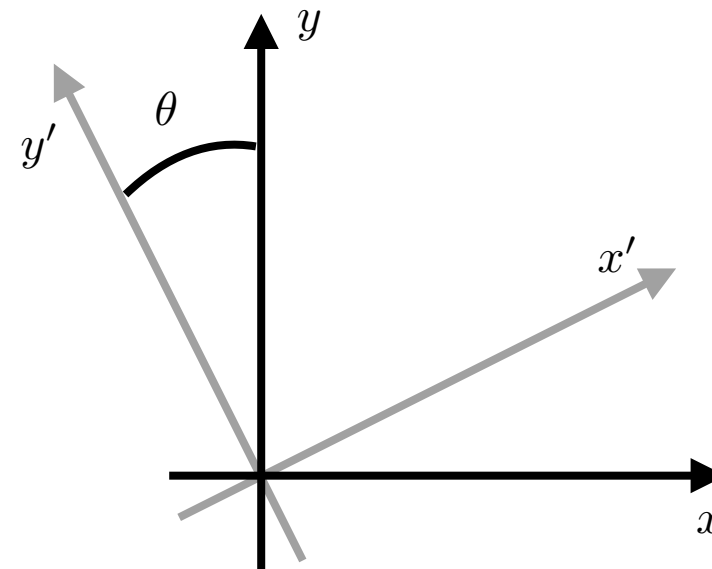
dilatazione dei tempi



($c = 1$)

‘Lunghezza’ e ‘larghezza’ si
mischiano ruotando

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$



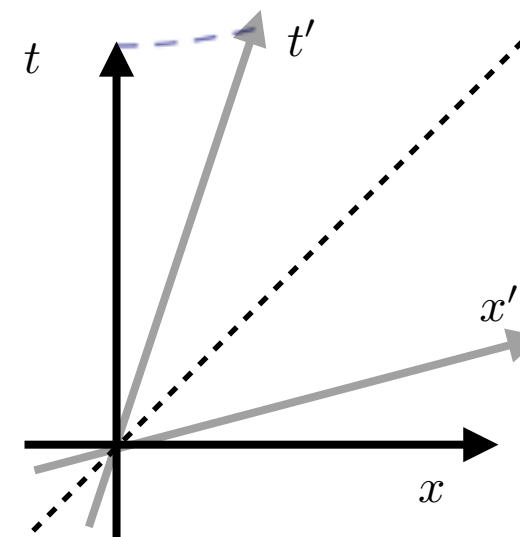
Spazio e tempo si mischiano
cambiando sistema di riferimento

trasformazione di Lorentz

$$\begin{pmatrix} t' \\ x' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \alpha & -\sinh \alpha \\ -\sinh \alpha & \cosh \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ x \end{pmatrix}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}} \quad \parallel \quad \begin{pmatrix} \gamma & -v\gamma \\ -v\gamma & \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ x \end{pmatrix}$$

dilatazione dei tempi

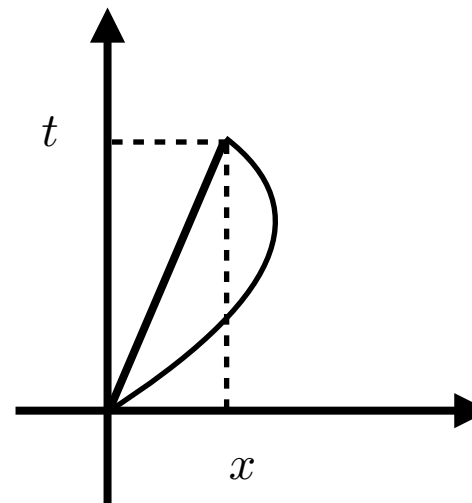
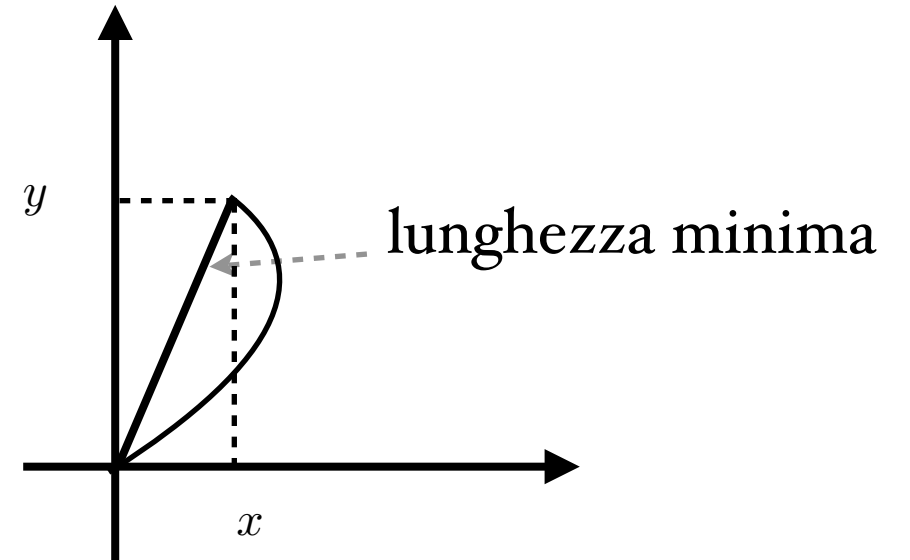


($c = 1$)

particelle elementari instabili possono vivere 100, 1000 volte più a lungo...
questo ci aiuta nel rilevarle

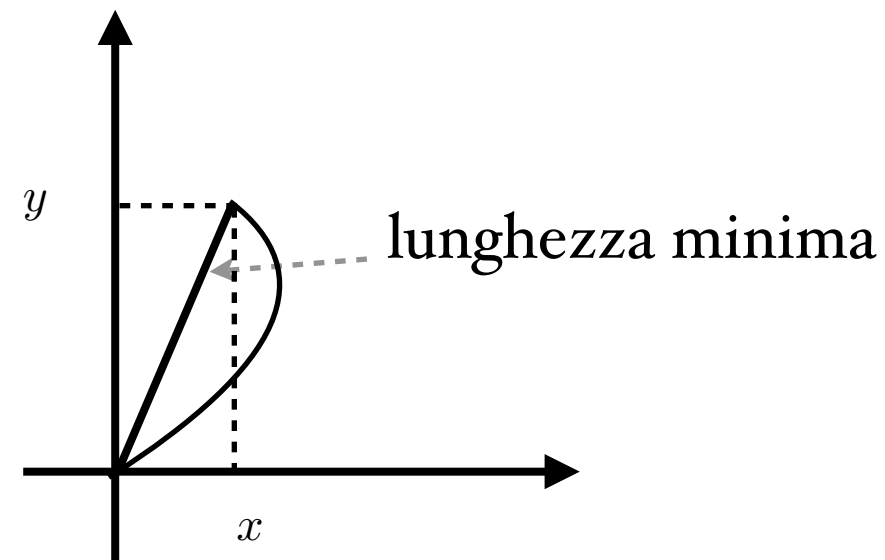
distanza minima:
teorema di Pitagora

$$\ell = \sqrt{x^2 + y^2}$$



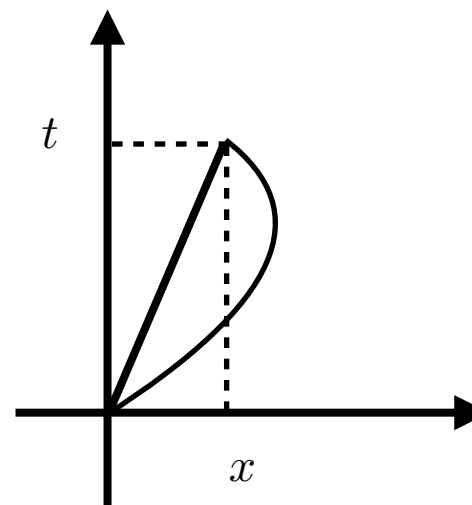
distanza minima:
teorema di Pitagora

$$\ell = \sqrt{x^2 + y^2}$$



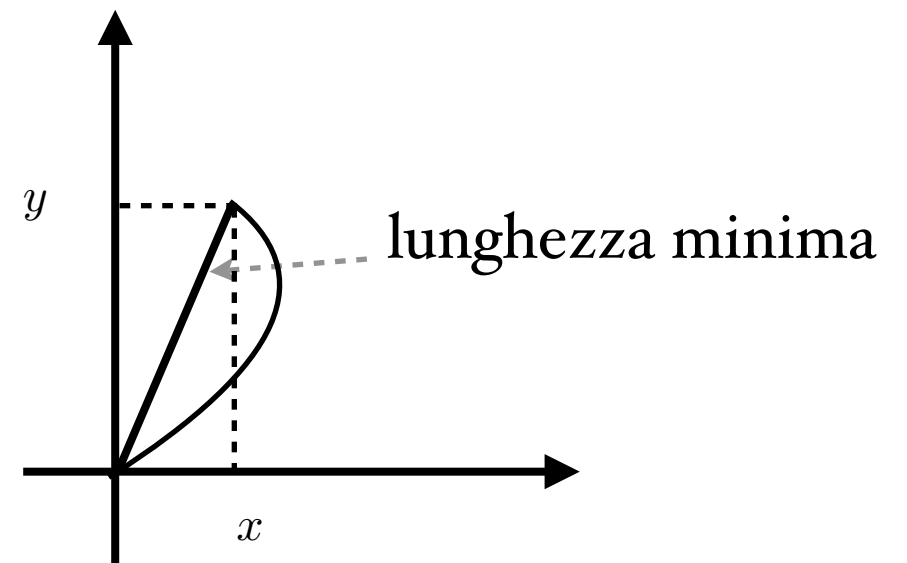
tempo **massimo** tra due eventi:

$$\tau = \sqrt{t^2 - x^2}$$



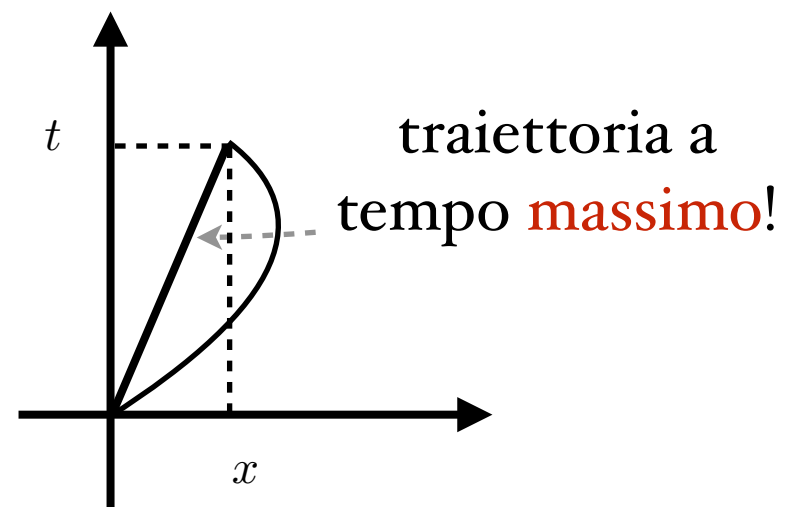
distanza minima:
teorema di Pitagora

$$\ell = \sqrt{x^2 + y^2}$$



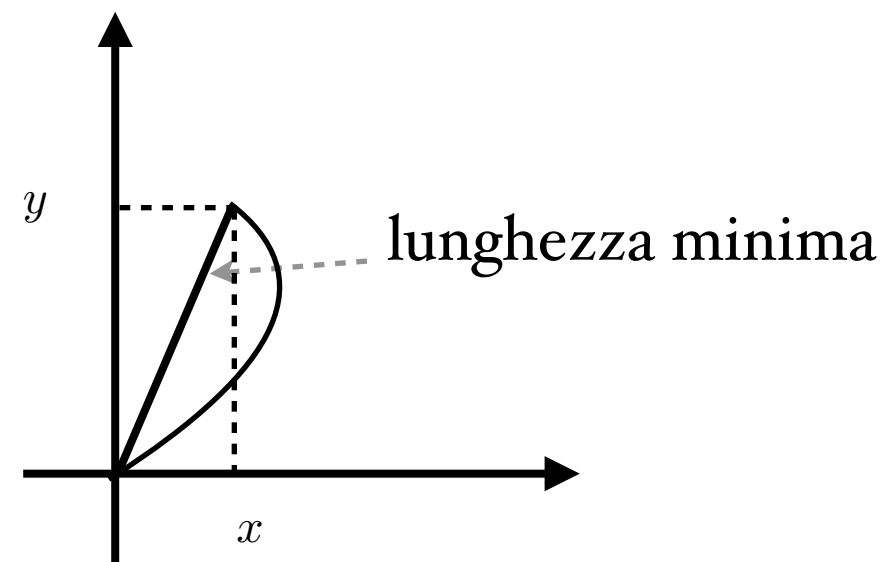
tempo **massimo** tra due eventi:

$$\tau = \sqrt{t^2 - x^2}$$



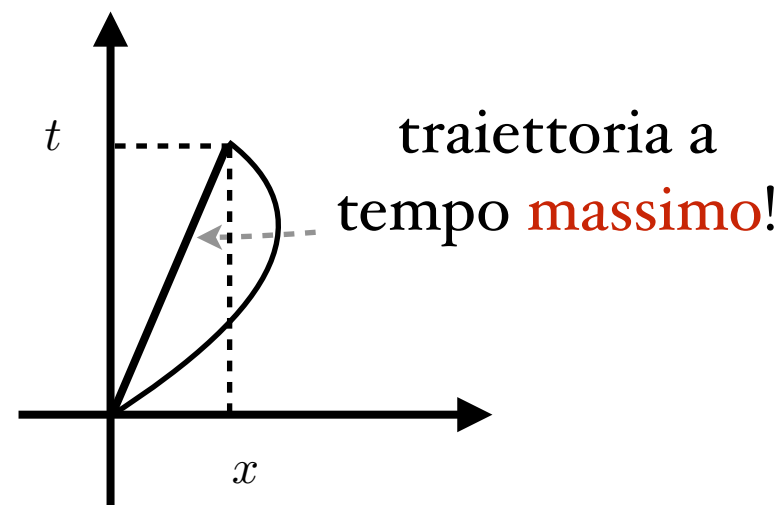
distanza minima:
teorema di Pitagora

$$\ell = \sqrt{x^2 + y^2}$$



tempo **massimo** tra due eventi:

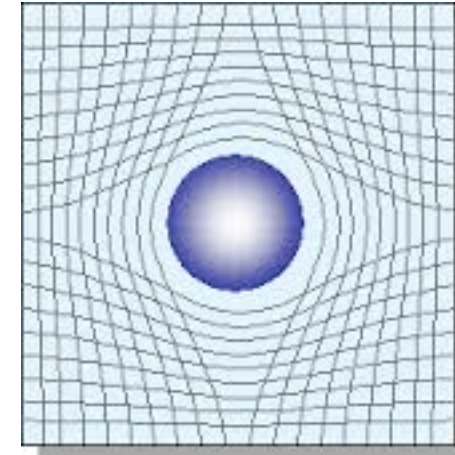
$$\tau = \sqrt{t^2 - x^2}$$



questo è il cosiddetto “paradosso dei gemelli”

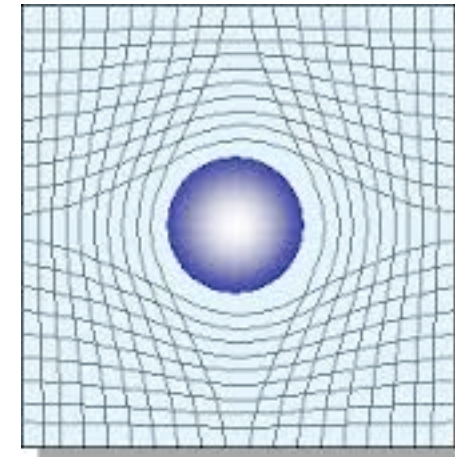
Relatività **generale**

- La massa curva lo spazio.
- Non esiste realmente la forza di gravità
- Gli oggetti 'cadono' perché non esistono traiettorie dritte

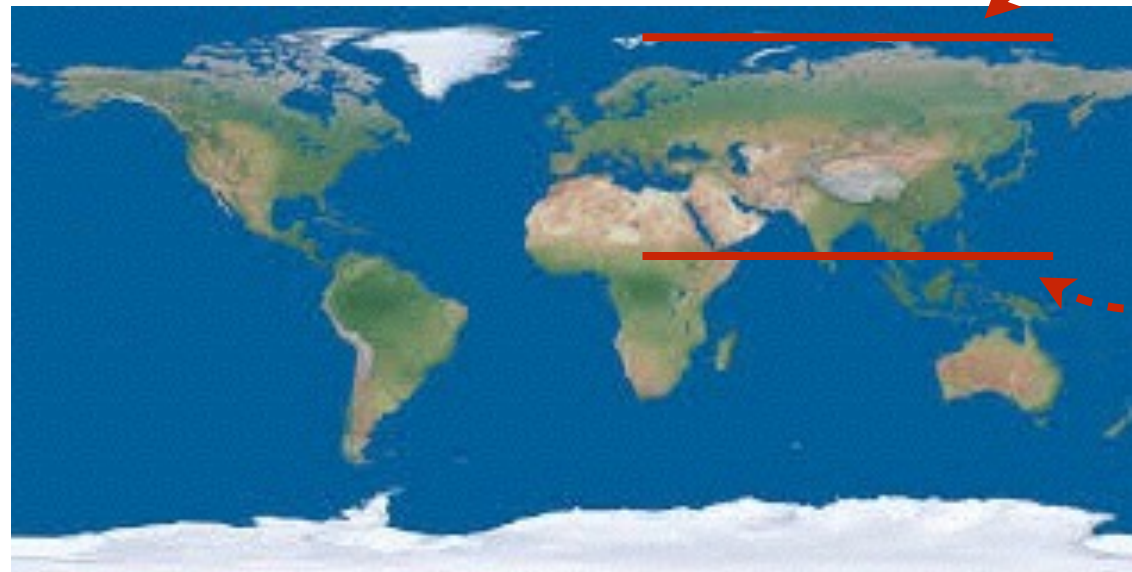


Relatività **generale**

- La massa curva lo spazio.
- Non esiste realmente la forza di gravità
- Gli oggetti 'cadono' perché non esistono traiettorie dritte

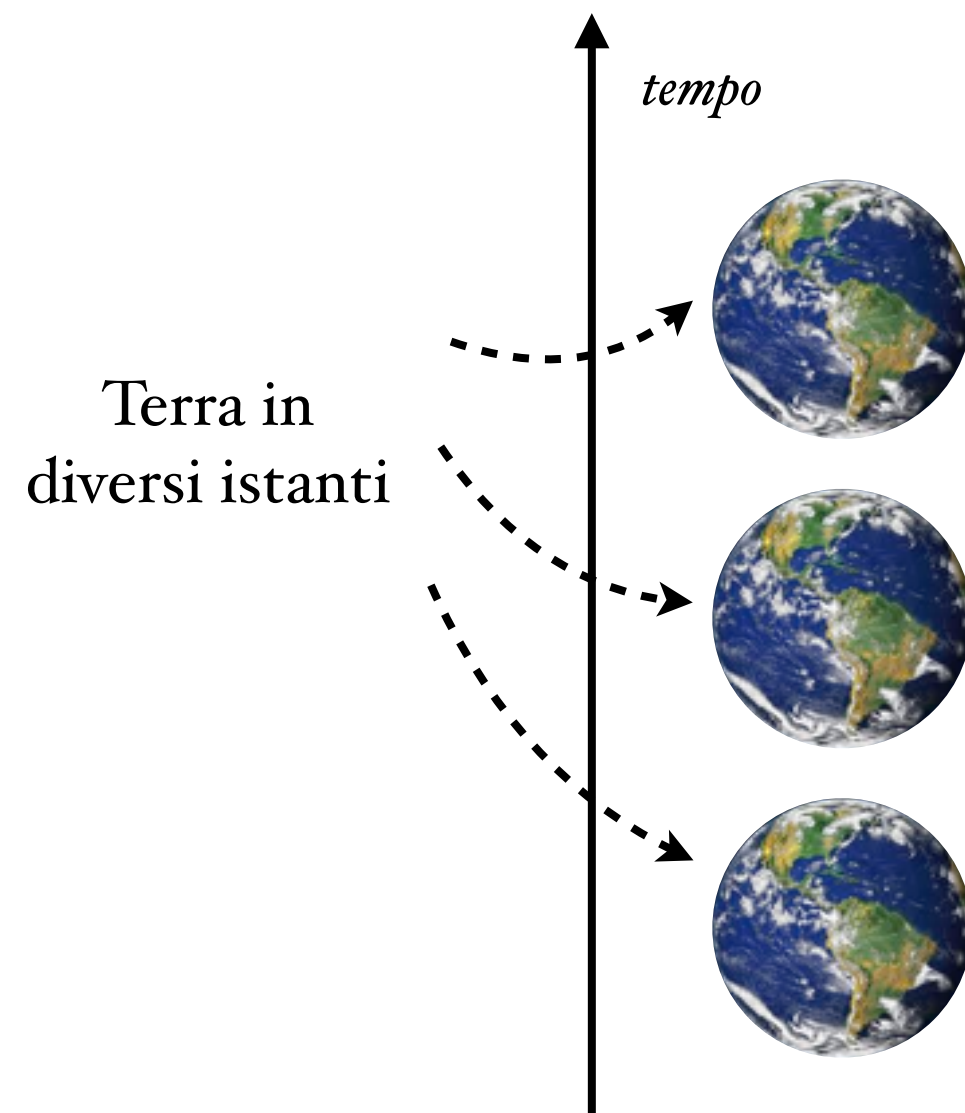
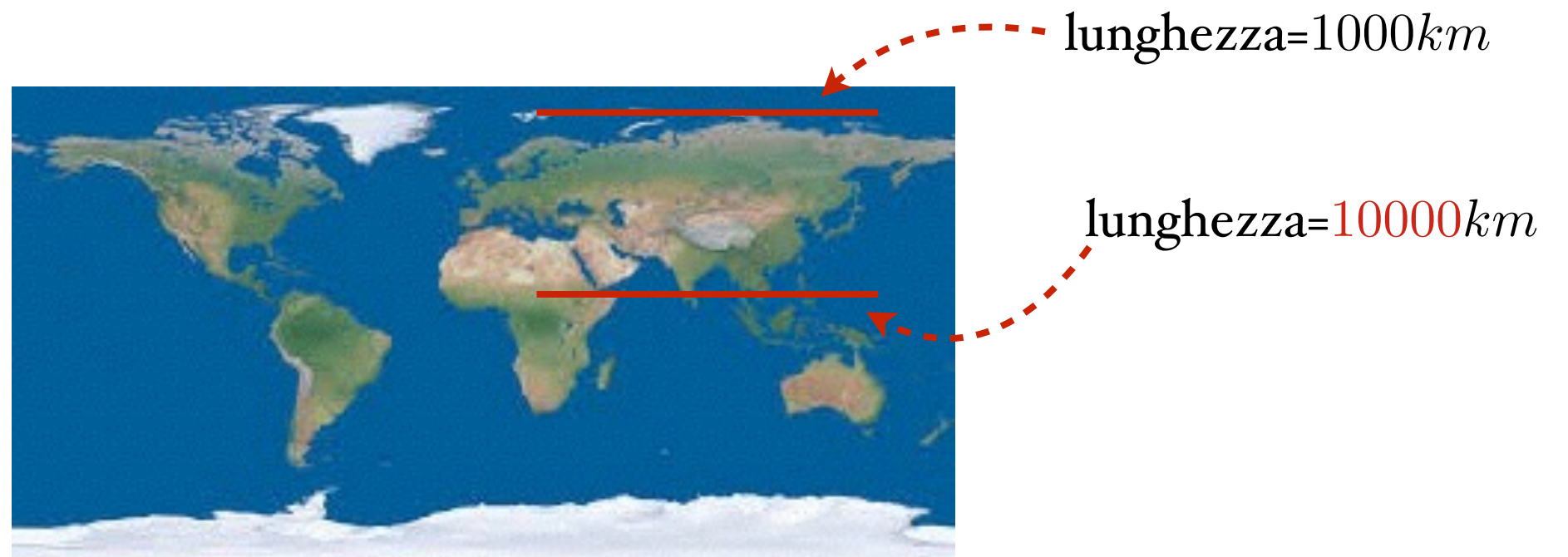


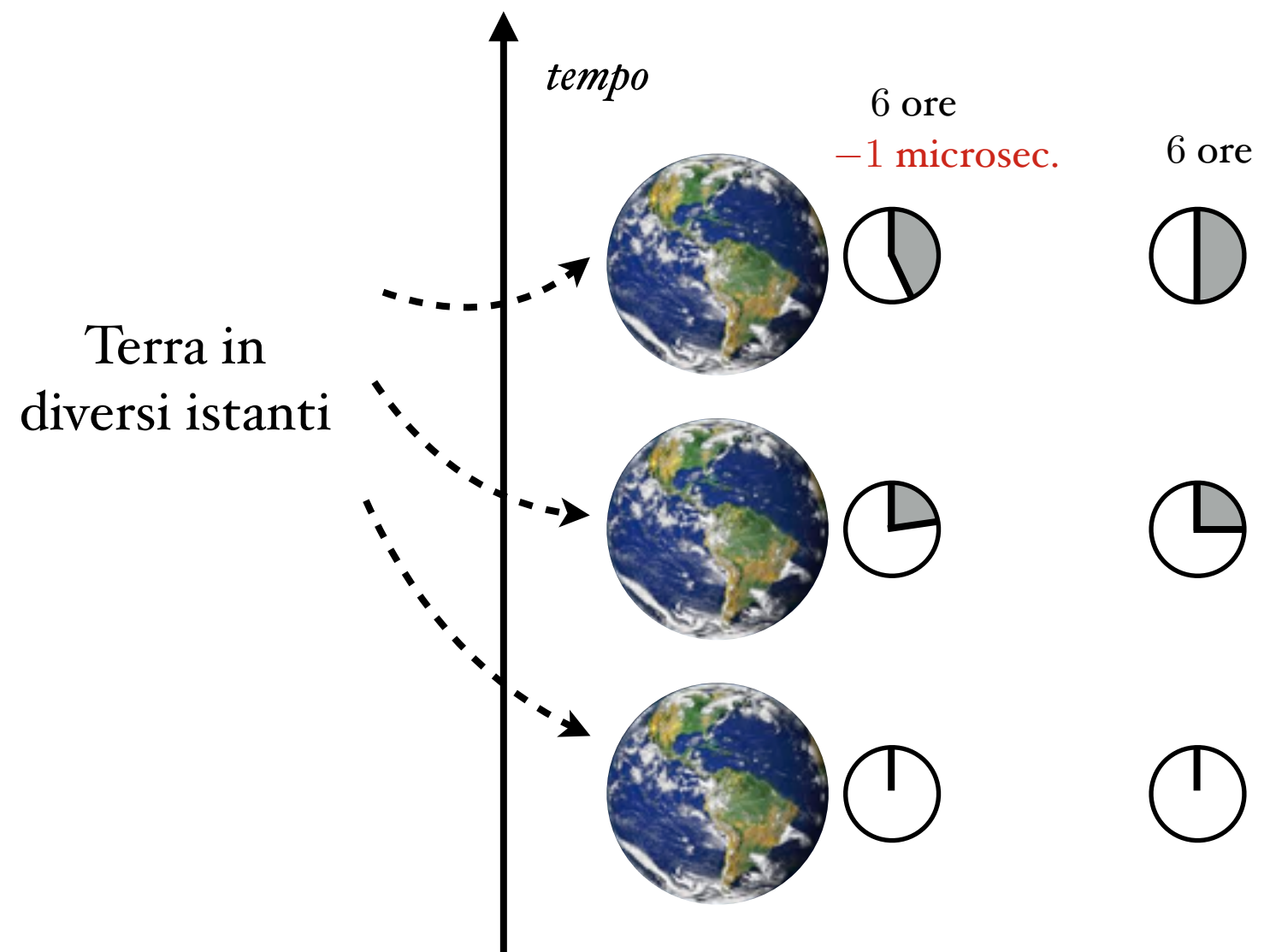
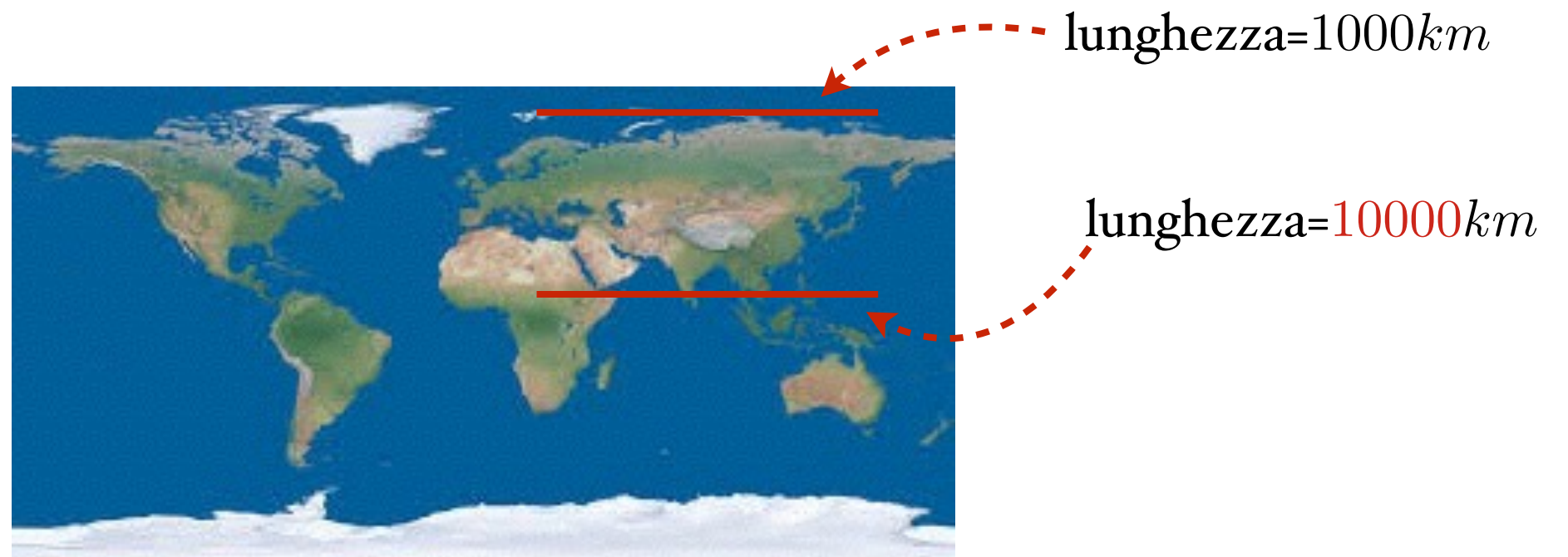
Ma in realtà la massa curva lo spaziot**empo**

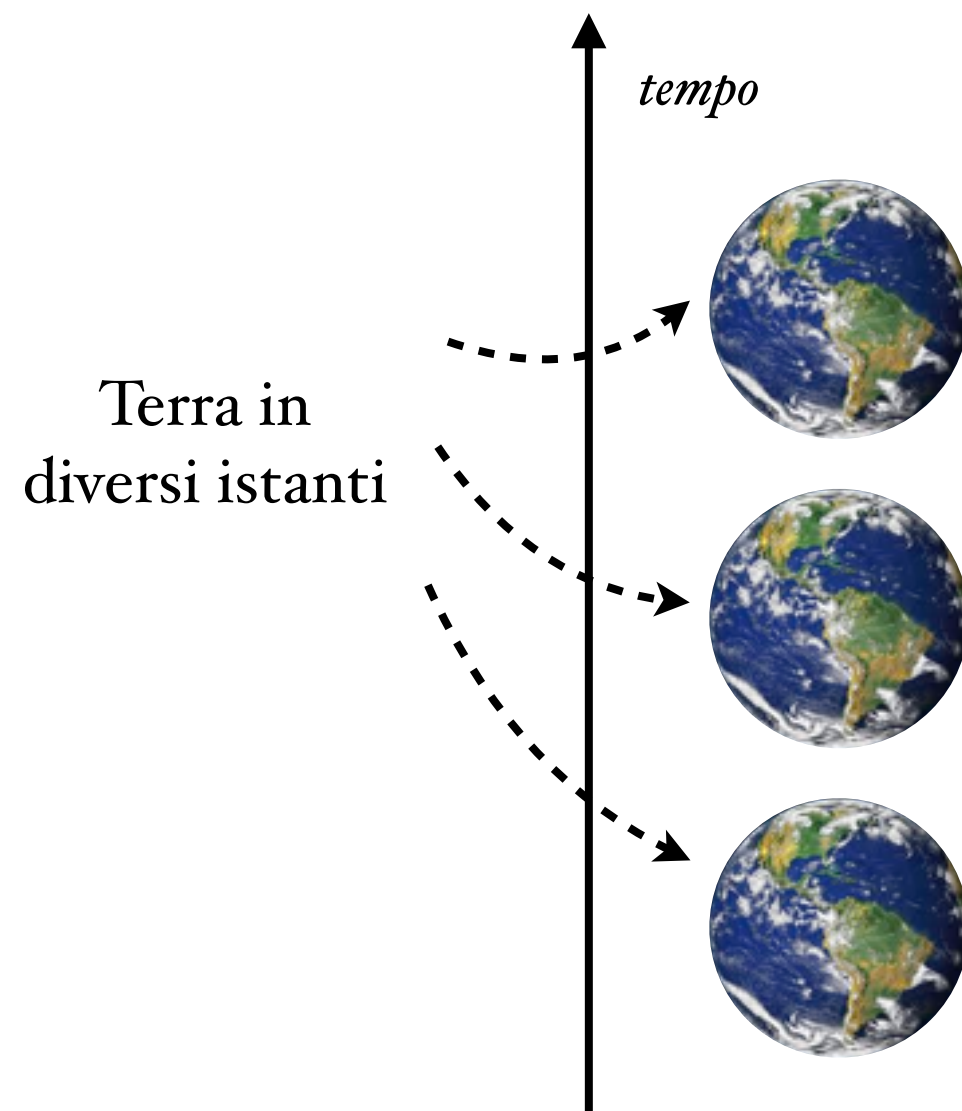


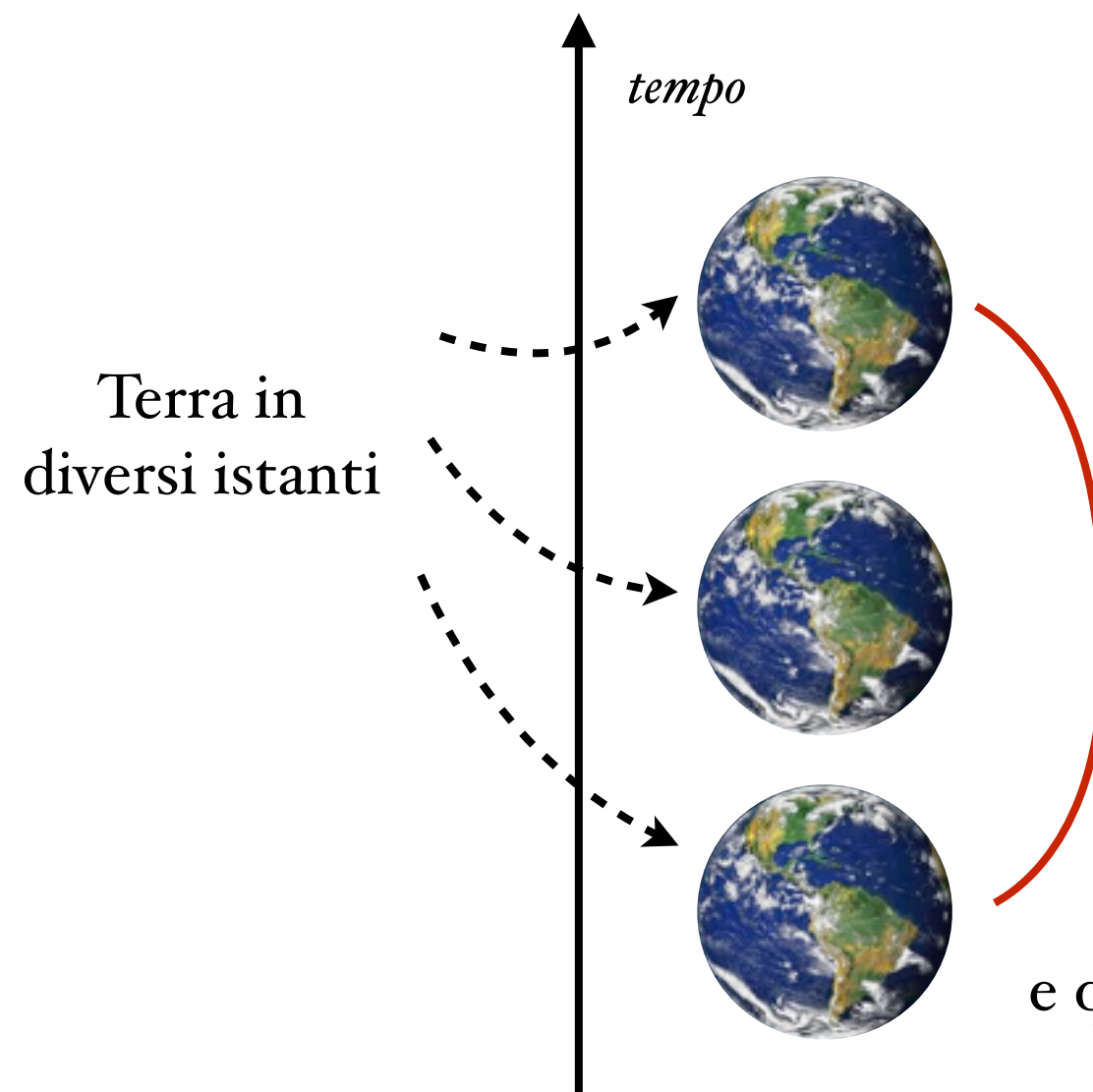
lunghezza= 1000km

lunghezza= 10000km







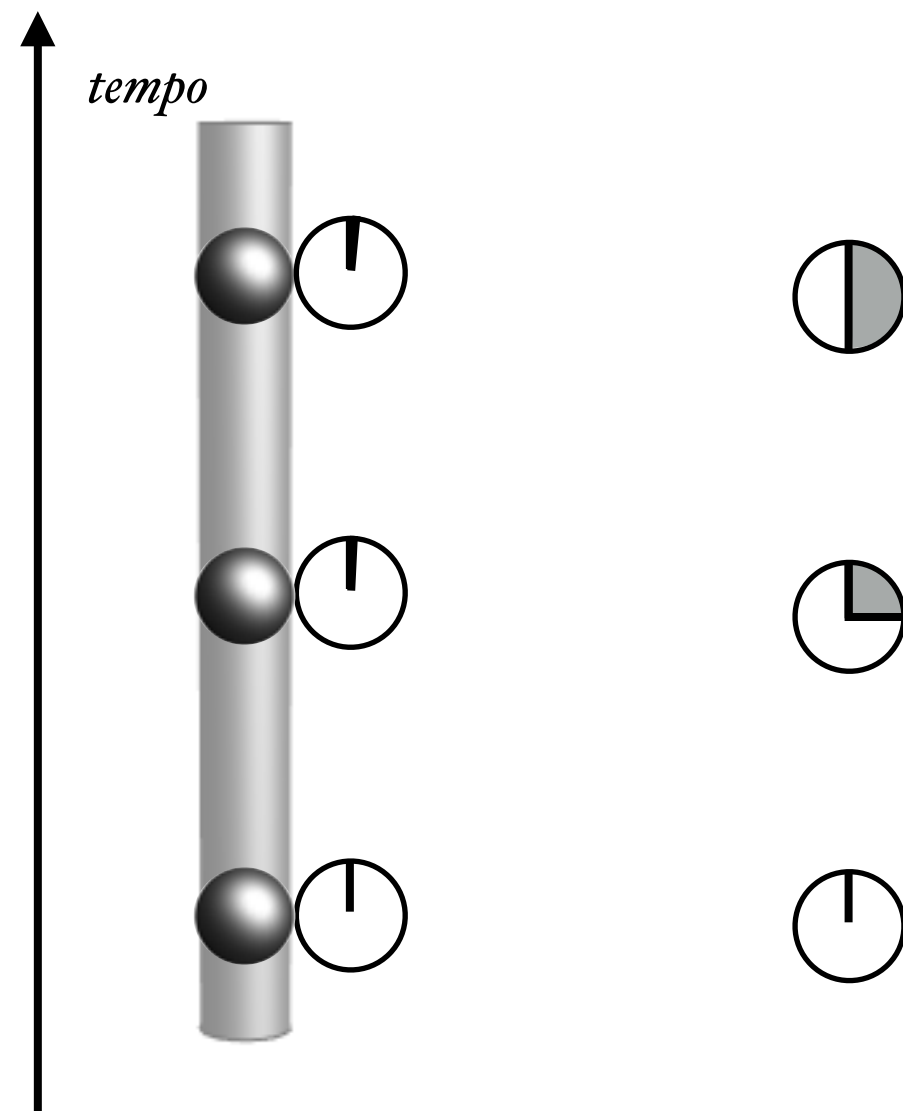


le traiettorie di corpi
in presenza di gravità
ancora **massimizzano**
il tempo trascorso

ma lo spaziotempo
è curvo!

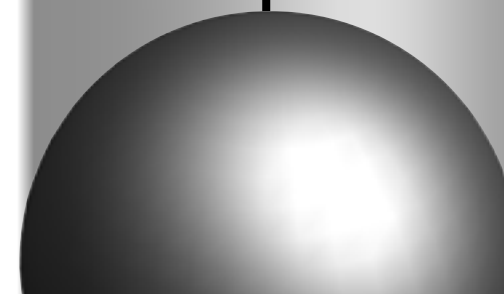
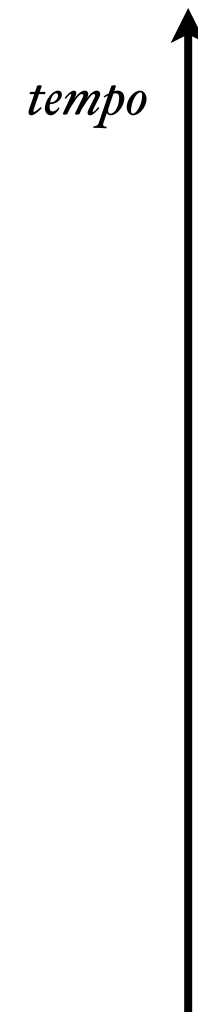
e quindi le traiettorie sono curve

sulla superficie di un buco nero
il tempo addirittura si ferma



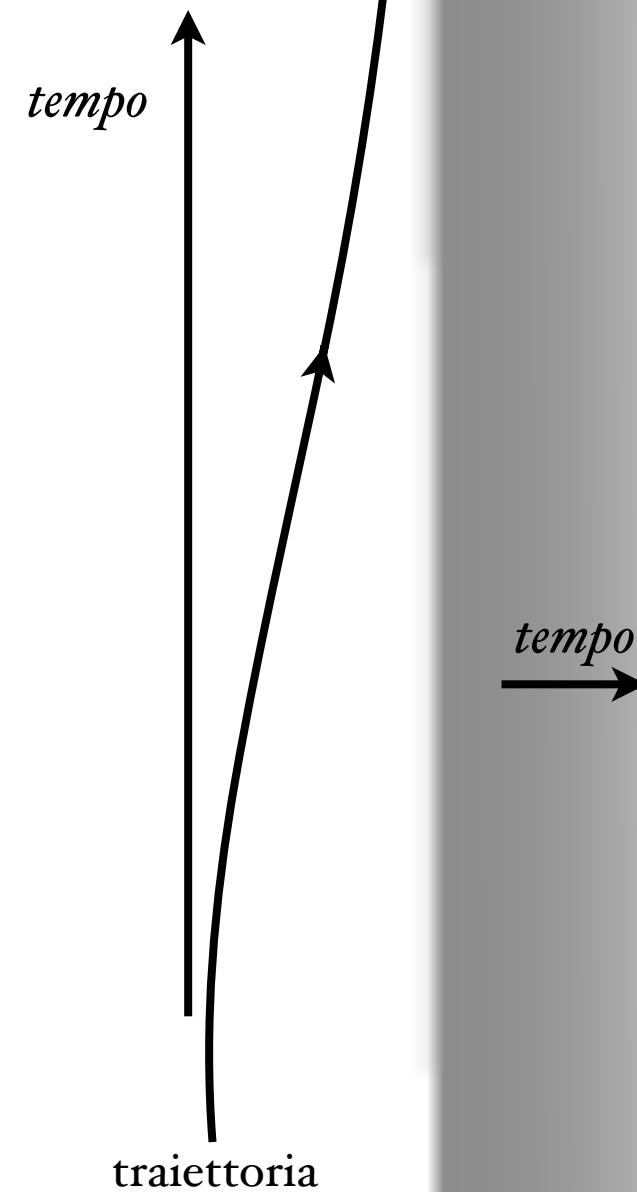
entrando in un buco nero la distanza
dal centro diventa il tempo!

al centro: “**singolarità**”



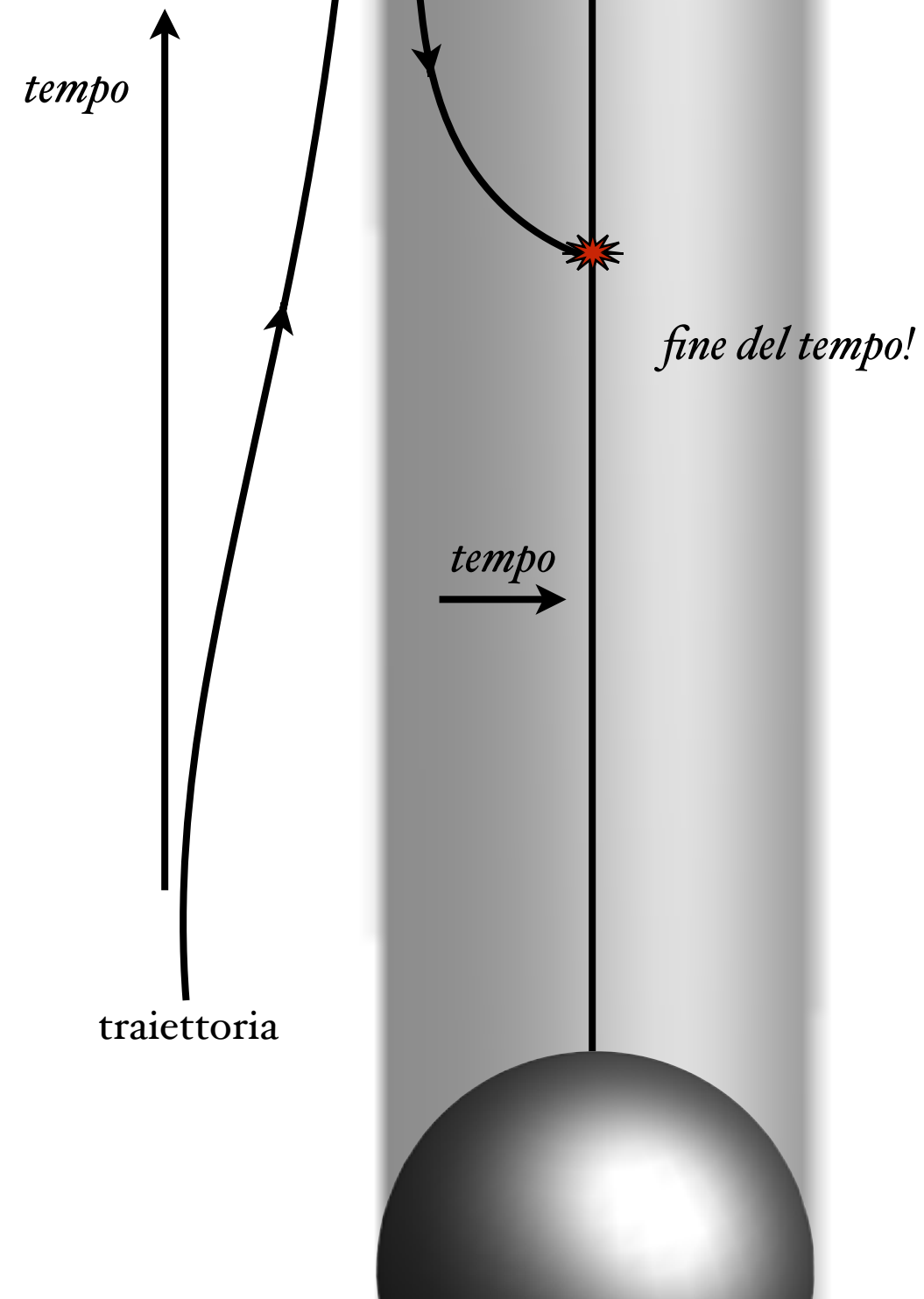
entrando in un buco nero la distanza
dal centro diventa il tempo!

al centro: “**singolarità**”



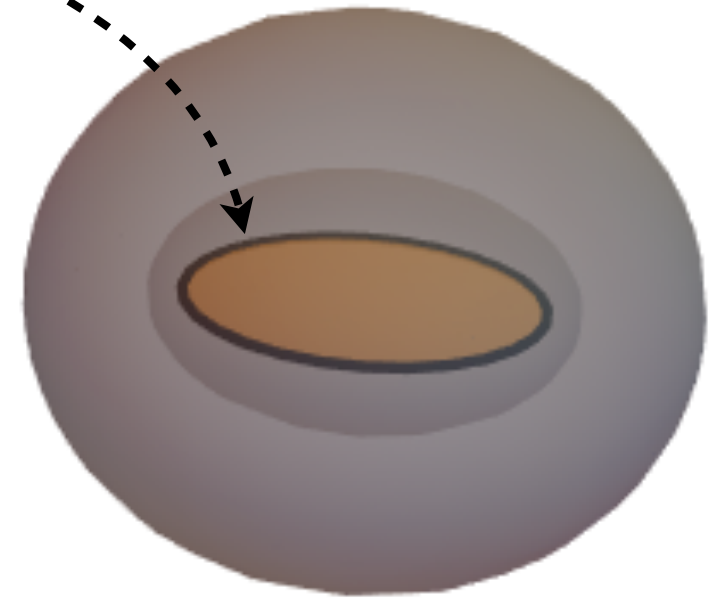
entrando in un buco nero la distanza
dal centro diventa il tempo!

al centro: “singolarità”



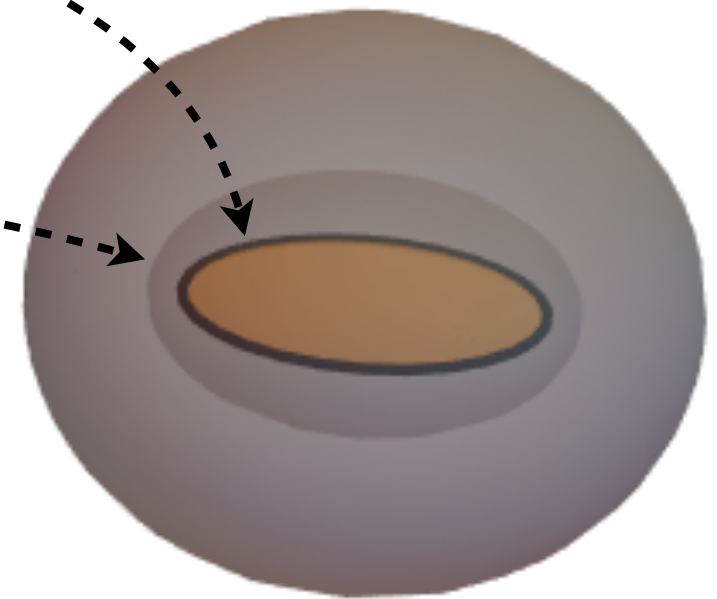
se però il buco nero **ruota**...

- la singolarità diventa un anello



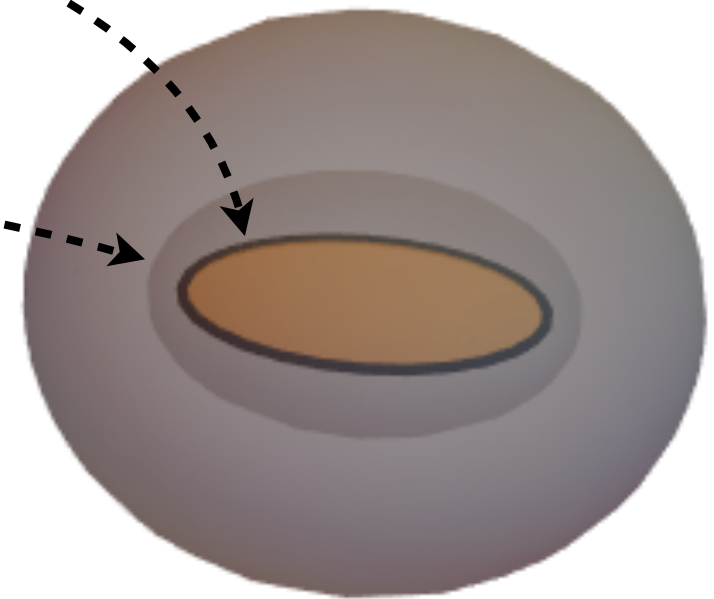
se però il buco nero **ruota**...

- la singolarità diventa un anello
- in una zona vicina all'anello,
il tempo ridiventa 'normale';
ci si può ancora salvare!



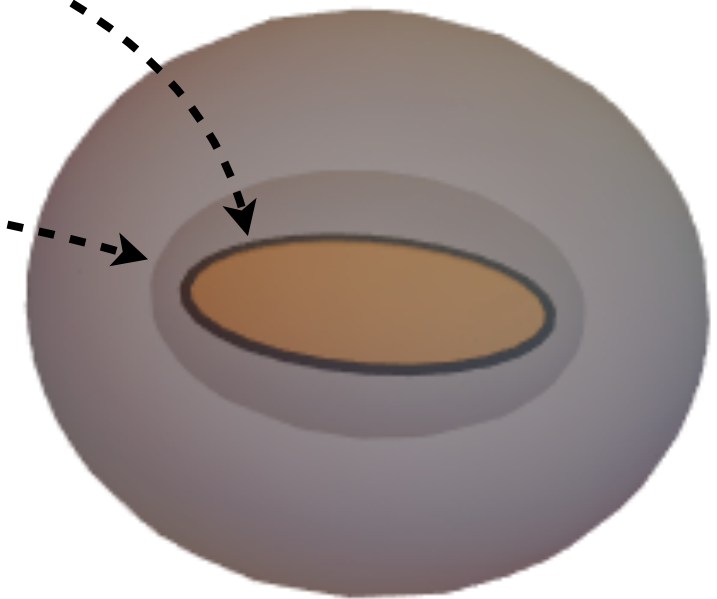
se però il buco nero **ruota**...

- la singolarità diventa un anello
- in una zona vicina all'anello,
il tempo ridiventa 'normale';
ci si può ancora salvare!
- passando dentro l'anello,
si riemerge in un **nuovo**
universo...



se però il buco nero **ruota**...

- la singolarità diventa un anello
- in una zona vicina all'anello,
il tempo ridiventa 'normale';
ci si può ancora salvare!
- passando dentro l'anello,
si riemerge in un **nuovo**
universo...
- ...in cui il tempo può
diventare **periodico**

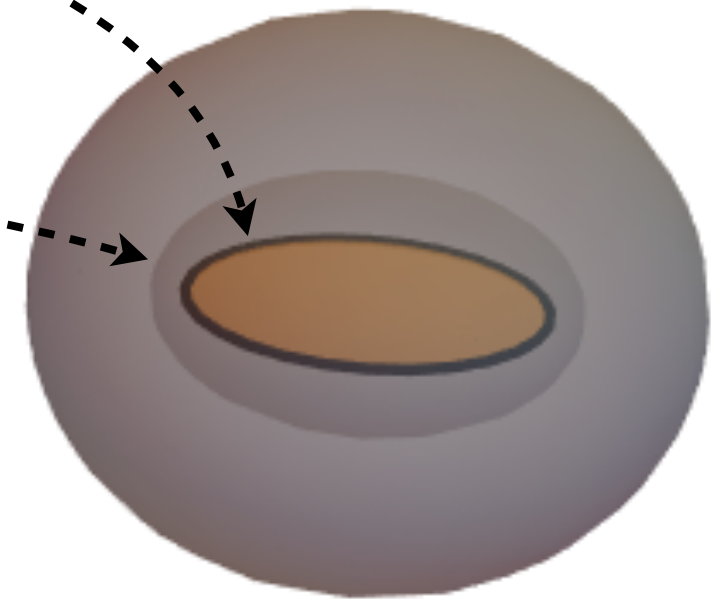


se però il buco nero **ruota**...

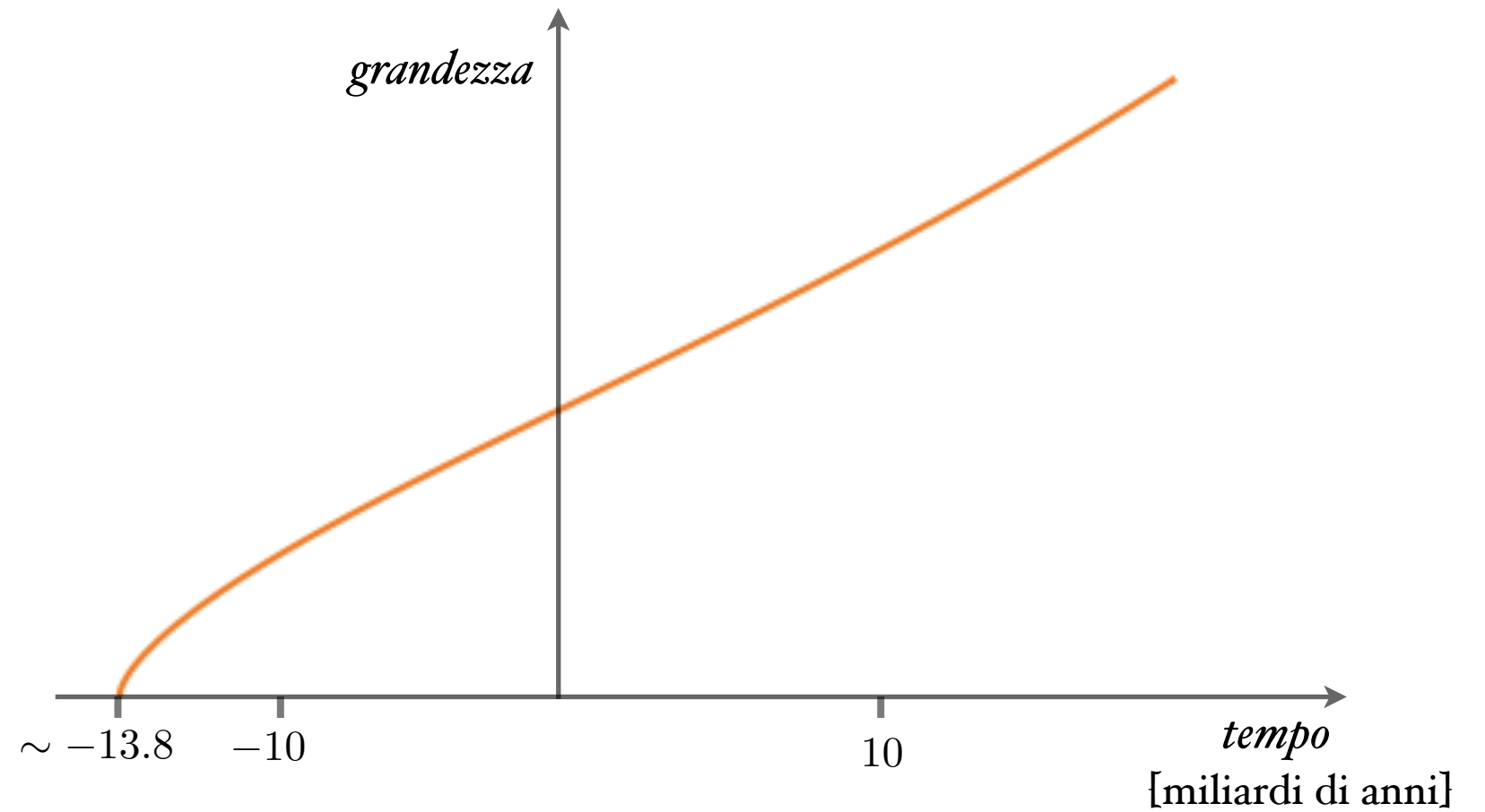
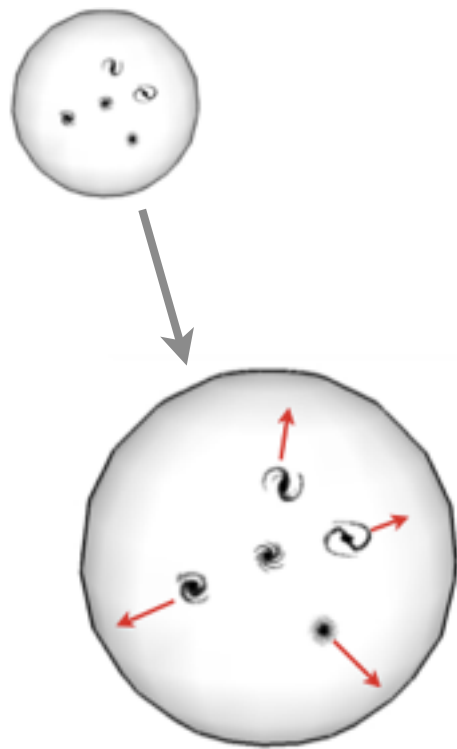
- la singolarità diventa un anello
- in una zona vicina all'anello, il tempo ridiventa 'normale'; ci si può ancora salvare!

idealizzazioni,
probabilmente...

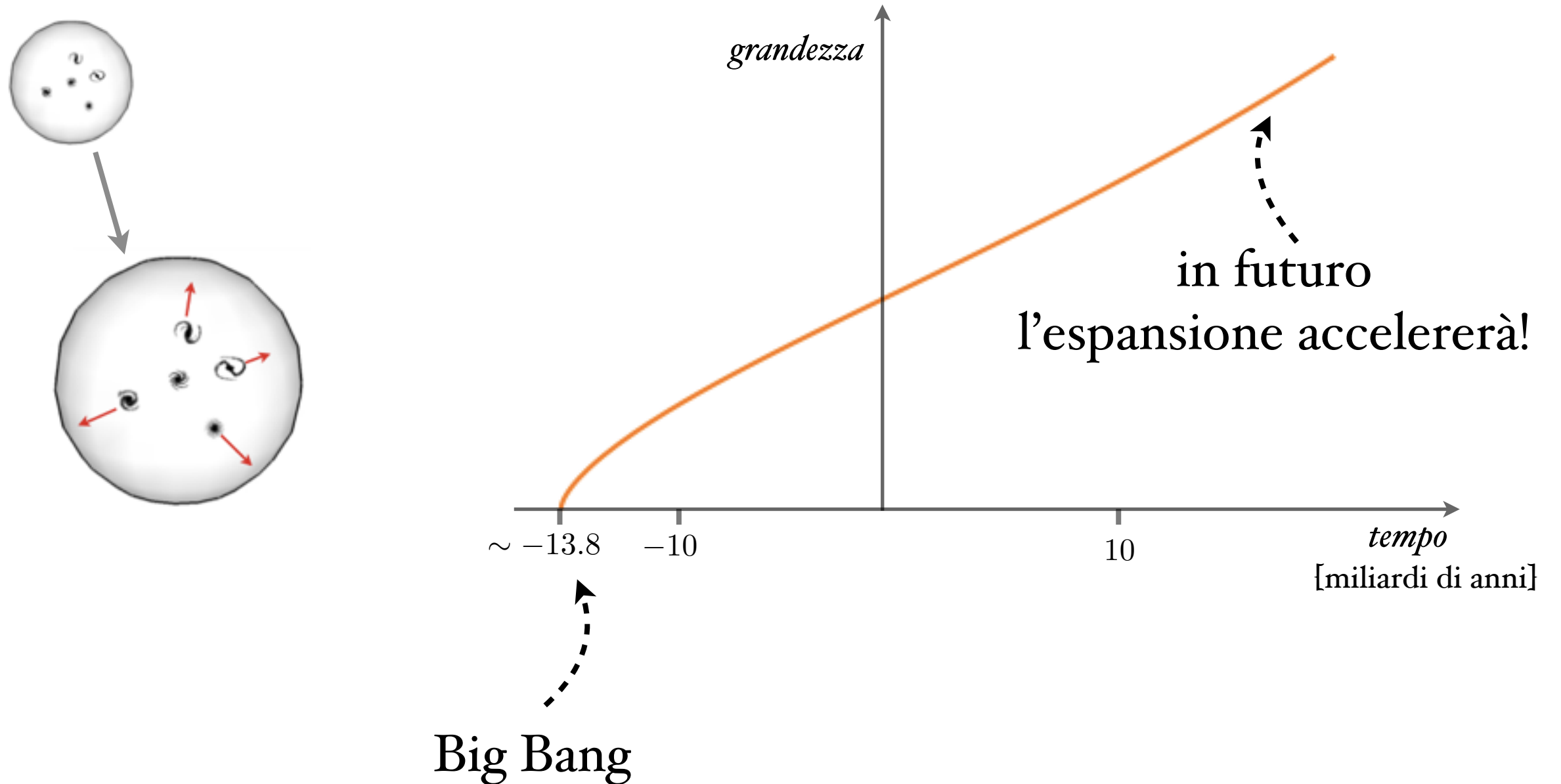
- passando dentro l'anello, si riemerge in un **nuovo universo**...
- ...in cui il tempo può diventare **periodico**



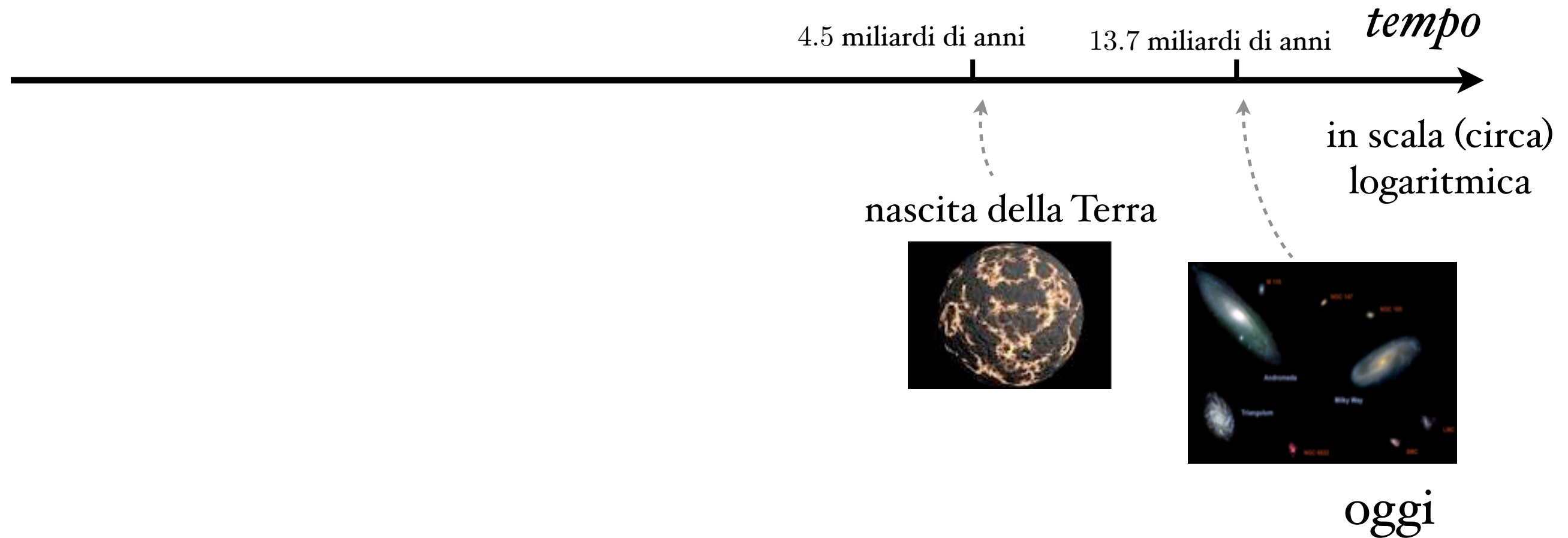
relatività generale + osservazioni: l'evoluzione dell'Universo



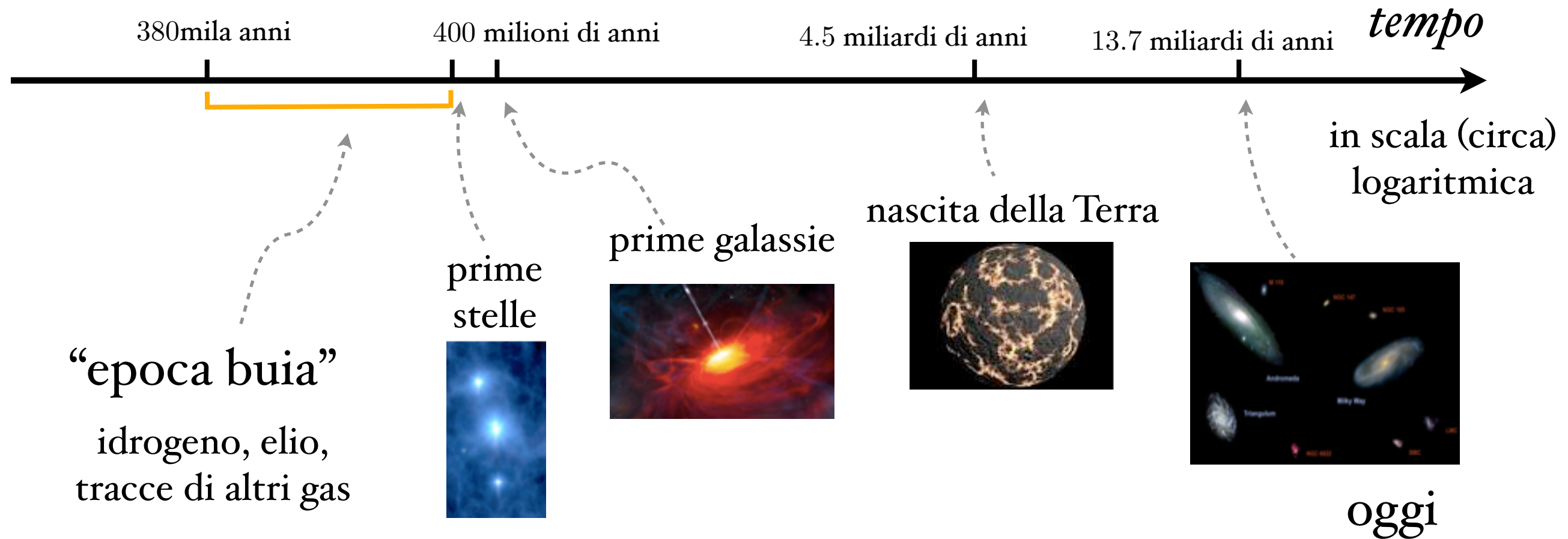
relatività generale + osservazioni: l'evoluzione dell'Universo



e ormai conosciamo la sua storia più in dettaglio...

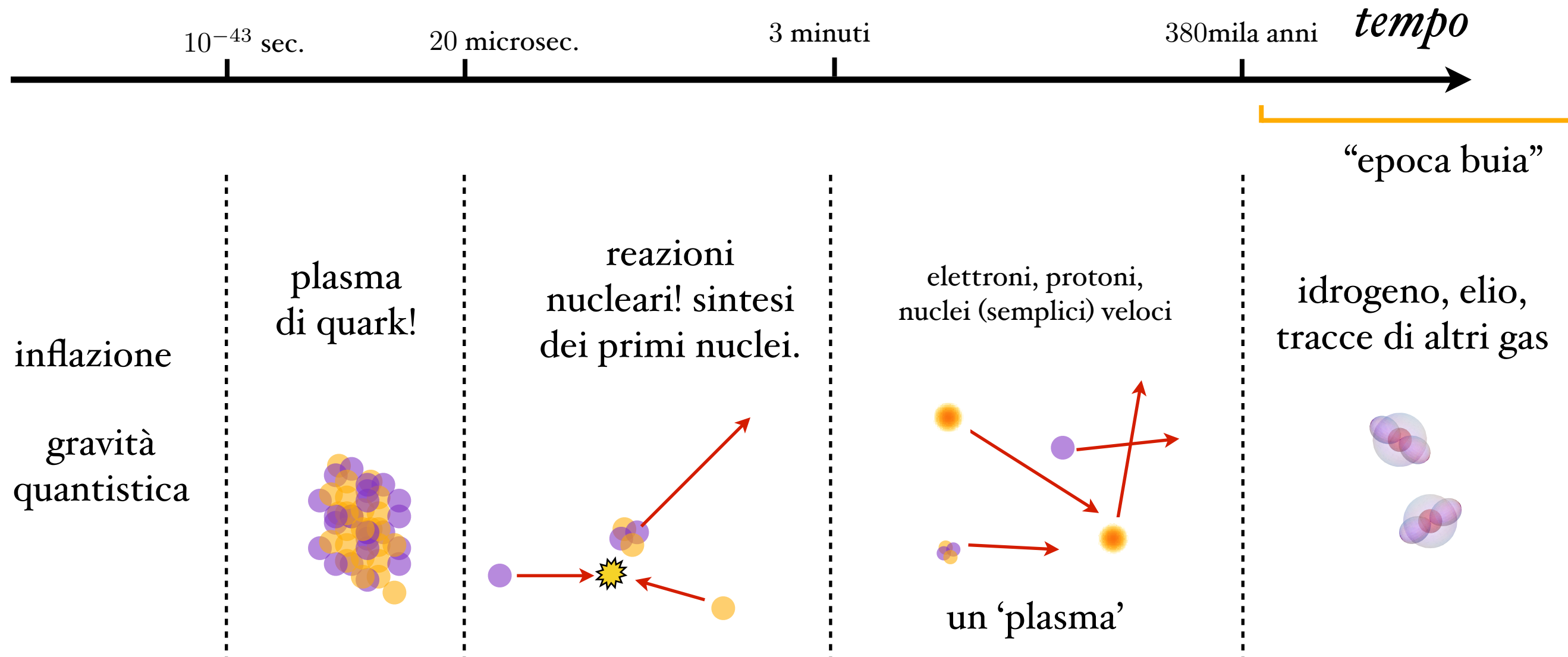


e ormai conosciamo la sua storia più in dettaglio...



immediatamente dopo il Big Bang, energie altissime!

fonte di informazioni sui mattoni elementari dell'Universo.



In conclusione

Da spettatore il tempo
è diventato **protagonista** della fisica

- non più assoluto...
- né eterno!
- a volte ‘multidirezionale’