

# Insegnare relatività nel XXI secolo

*Il principio  
di  
relatività*

## Leggi di trasformazione

Il titolo appare solenne, ma vuol dire una cosa semplice: se osserviamo *lo stesso fenomeno* da due diversi rif. **S** e **T**, in generale per le grandezze in gioco troveremo *valori diversi* in **S** e in **T**.

Pensiamo per es. alla velocità; ma è vero anche in altri casi: energia, campo magnetico...

Ci possono essere particolari grandezze che non cambiano valore: le chiameremo *invarianti*.

Attenzione: “invariante” non vuol dire che non cambia *nel tempo*, ma che mantiene lo stesso valore *in diversi rif.*

Esempi? La massa, la carica elettrica ... (ce ne sono altri, ma è meglio non divagare).

Una *legge di trasformazione* è semplicemente la *regola* con cui una certa grandezza cambia da **S** a **T**.

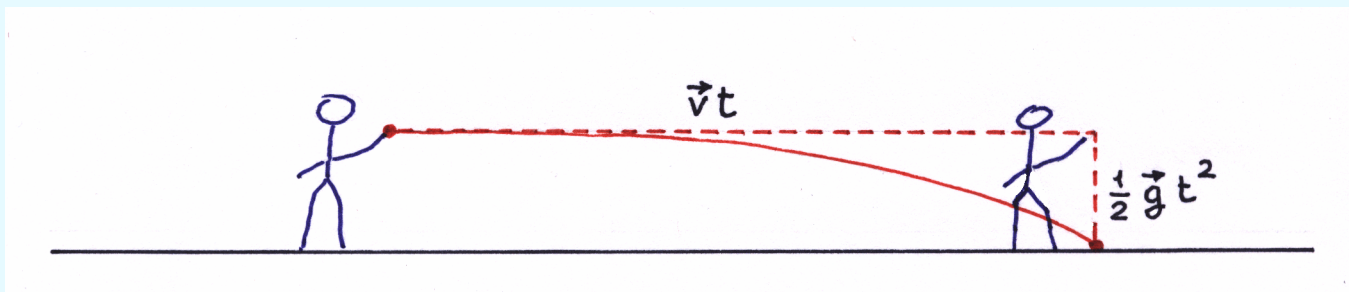
## Torniamo ai proiettili ...

... e rivediamo criticamente il ragionamento che abbiamo fatto.

Abbiamo detto:

“In un dato tempo  $t$ , la mano che ha lasciato cadere il sasso si è spostata – insieme al treno – di un tratto  $v t$ .”

Se **S** è il riferimento fermo rispetto alla Terra (riferimento della *stazione*) e **T** è il riferimento del *treno*, l'affermazione qui sopra esprime semplicemente il fatto che il treno – e tutti i corpi fermi rispetto ad esso – si muovono rispetto a **S** con la stessa velocità costante  $v$ .



Poi abbiamo detto:

“... il sasso ha percorso in verticale rispetto alla mano un tratto  $\frac{1}{2}gt^2$ .”

Ora attenzione: quest'affermazione si riferisce a grandezze misurate *nel riferimento T*.

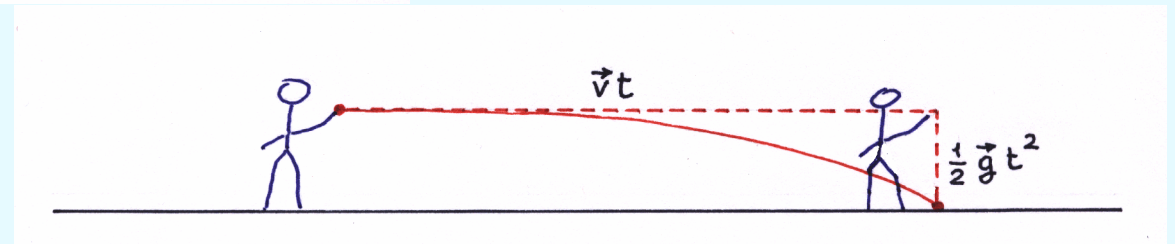
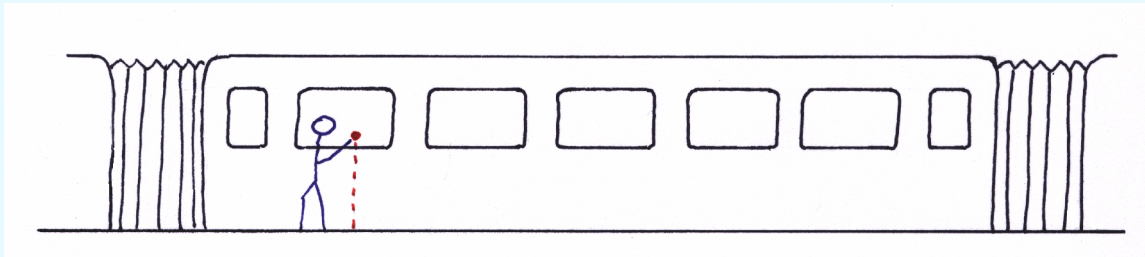
Dato che stiamo assumendo il PR, abbiamo certamente il diritto di dire che anche in **T** (come in **S**) i gravi cadono di moto uniformemente accelerato, e con la stessa accelerazione.

(Se non fosse così, misurando l'accelerazione potremmo capire se siamo in **S** o in **T**, e Galileo avrebbe torto quanto al PR.)

Però abbiamo anche detto “nello stesso tempo” e qui dobbiamo riflettere.

Se intendiamo che l'esperimento di caduta di un sasso fermo si svolge con le stesse modalità nel tempo, tanto in **S** quanto in **T**, va benissimo: questo è appunto il PR.

Ma se invece intendiamo che il tempo  $t$  che impiega il sasso a cadermi ai piedi, misurato in **T**, risulterà ancora uguale a  $t$  se misuro il fenomeno da **S**, stiamo affermando che il tempo è *invariante*.



*Chi ce lo garantisce?*

## Il tempo è assoluto?

Parlando di tempo, di solito invece di dire “invariante” si dice “assoluto”; ma il concetto è lo stesso.

C'è voluto Einstein per capire che anche a questa domanda si può solo dare risposta su *base sperimentale*.

Ci sono buone ragioni perché non ci si era pensato prima: il fatto è che proprio su basi sperimentali non s'era mai vista nessuna differenza.

*Tutte le prove sperimentali andavano in favore del tempo assoluto.*

Vada dunque (provvisoriamente) per il tempo assoluto, purché sia chiaro che lo accettiamo non perché è evidente, oppure su basi *filosofiche*; ma solo perché *l'esperienza* così suggerisce.

## E lo spazio?

“Nello stesso tempo il sasso ha percorso in verticale rispetto alla mano un tratto  $\frac{1}{2} gt^2$ .”

Abbiamo sistemato il tempo; ma qui si sottintende che anche lo *spazio* misurato in **S** sia lo stesso che in **T**.

Solita domanda: *chi ci autorizza?*

Ebbene, qui la risposta è diversa: si può dimostrare che *proprio il PR ce lo garantisce*, trattandosi di uno spostamento *trasversale* rispetto al moto relativo dei due riferimenti.



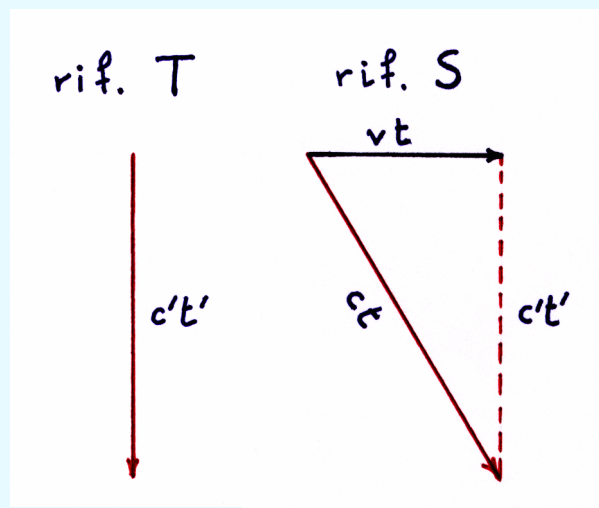
## Tempo assoluto e velocità della luce

È facile vedere che *se il tempo è invariante* (assoluto) allora *non può essere invariante la velocità della luce*, e viceversa.

L'esperimento del sasso, rifacciamolo con la luce, e trascuriamo la gravità (potremmo far viaggiare la luce orizzontale, trasversalmente al treno).

Indichiamo con  $c$ ,  $c'$  le due velocità della luce in **S** e in **T** (potranno essere uguali o no: vedremo).

Indichiamo anche (per prudenza) con  $t$ ,  $t'$  i tempi di percorrenza misurati in **S** e in **T**.



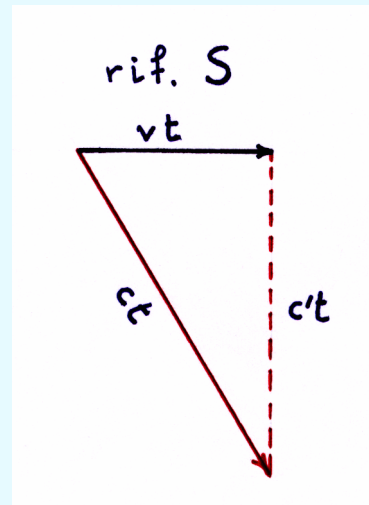
## Ipotesi 1: tempo assoluto

Assumiamo il tempo assoluto:  $t = t'$ .

Allora nello stesso tempo  $t$  la luce ha percorso un tratto  $c't$  nel riferimento **T**, e un tratto  $ct$  nel riferimento **S**.

La figura mostra che  $ct$  è più lungo di  $c't$ : dunque  $c > c'$ :

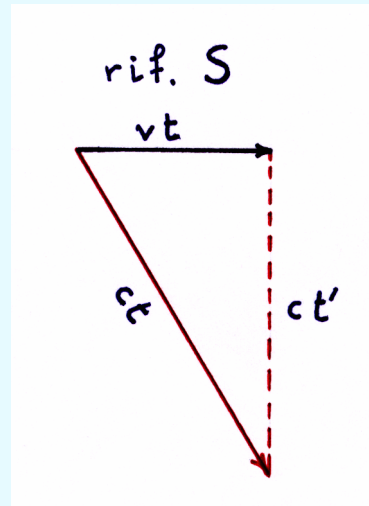
*Se il tempo è assoluto, la velocità della luce non è invariante.*



## Ipotesi 2: velocità della luce invariante

Se  $c = c'$  allora la stessa figura, essendo sempre  $ct > c't'$ , ci mostra che dev'essere  $t > t'$ :

*Se la velocità della luce è invariante, il tempo non è assoluto.*



## La scelta di Einstein

Sappiamo che Einstein sceglie la seconda ipotesi: velocità della luce invariante, tempo non invariante.

La sua motivazione l'abbiamo già detta: ritiene che il PR debba valere anche per l'elettromagnetismo.

Oggi abbiamo motivi molto più forti, perché il campo dei fenomeni e dei sistemi fisici conosciuti si è molto allargato.

Due esempi:

– *le navicelle spaziali*

– *le stelle.*

## Navicelle e stelle

Le navicelle spaziali portano a bordo complessi apparati elettromagnetici.

Questi funzionano perfettamente come sono stati progettati, e sono stati progettati (e collaudati) sulla Terra, usando le leggi fisiche dell'elettromagnetismo, *valide sulla Terra*.

Se non valesse il PR, quando la navicella viaggia a velocità di 10 o 20 km/s rispetto a noi, *si noterebbero variazioni* nel funzionamento di quegli apparati.

Discorso analogo per le stelle: oggi sappiamo spiegare quello che accade al loro interno, mettendo al lavoro *tutta la fisica che abbiamo imparato a costruire e sperimentare sulla Terra*.

Ma *le stelle sono tutt'altro che ferme* rispetto a noi: hanno velocità di decine di km/s, in qualche caso anche oltre 100 km/s.

Se non valesse il PR, non potremmo aspettarci di poter spiegare l'evoluzione delle stelle *con le leggi fisiche conosciute sulla Terra*.

## I riferimenti inerziali

Il PR asserisce l'equivalenza di tutti i riferimenti in moto *traslatorio rettilineo uniforme* (TRU) uno rispetto all'altro.

Che cosa si può dire di due riferimenti in moto relativo *non* TRU?

In generale non sono equivalenti: può darsi che uno sia “buono” e l'altro “cattivo”?

I riferimenti buoni si chiamano “inerziali”, ma non è proprio facile definirli...

Abbiamo già visto che empiricamente, *in prima approssimazione*, è buono (inerziale) un riferimento solidale alla Terra.

Questo si capisce: se non fosse così, la meccanica di Newton non potrebbe trovare applicazioni pratiche nel nostro mondo...

Occorrono esperimenti abbastanza raffinati per scoprire che in un riferimento solidale alla Terra succede qualcosa di “strano”:

- *deviazione verso Est nella caduta dei gravi*
- *pendolo di Foucault ...*

In realtà ci sono anche effetti molto più appariscenti, per es. nella *circolazione atmosferica*; ma c'è voluto molto più tempo per capire come applicare la meccanica alla meteorologia e quindi scoprire che molti fenomeni dipendono dalla rotazione terrestre.