

Riflessioni sui temi della relatività

Giuseppina Rinaudo

Associazione per l'Insegnamento della Fisica

Dipartimento di Fisica – Università di Torino

giuseppina.rinaudo@unito.it

Parlare di relatività a scuola – Convegno in ricordo di Mariapiera Genta

21/4/2016

Perché ripensare la relatività

- perché è un tema che ritorna periodicamente nei media e nelle trasmissioni scientifiche o “pseudoscientifiche”
- per l’interesse suscitato dalla ricorrenza del centenario della RG e dalla recente rivelazione delle onde gravitazionali
- perché raccomandato nelle indicazioni nazionali per la secondaria di II grado, in particolare LS e LSA
- per la seconda prova dell’esame di stato dei LS e LSA
- perché **la relatività è bella** e costringe a rivedere e approfondire innumerevoli concetti che sono alla base di molti fenomeni fisici, alcuni apparentemente lontani e non direttamente collegati alla relatività

.....occasioni per riflettere

Innumerevoli spunti dalla vita quotidiana:

- che idea ho dello spazio
- che idea ho della distanza fra due punti nello spazio
- che idea ho di un intervallo di tempo
- che idea ho del tempo
- che idea ho della luce e della sua velocità
- che idea ho del "campo"
- che idea ho della corrente elettrica
- che idea ho dell'energia
- che idea ho

Iniziamo dal tempo: frasi che fanno riflettere

- c'è il tempo psicologico e il tempo *matematico* (Pastrone)
- c'è il tempo del mio nipotino di 4 anni ("*tanti anni fa, quando ero piccolo...*") e di quello di 8 anni che va a scuola e ha un orologio
- c'è il tempo che scorre, come quello necessario per fare la conta al gioco del nascondino o per fare un tratto di strada
-e poi c'è il tempo "fisico"

Einstein, "Elettrodinamica dei corpi in movimento", 1905:

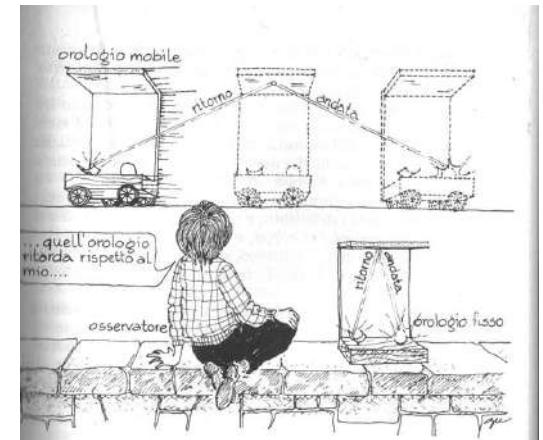
"Se vogliamo descrivere il moto di un punto materiale, diamo i valori delle sue coordinate in funzione del tempo. Ora si deve tenere ben in mente che una descrizione matematica siffatta ha un significato fisico solo quando si sia detto chiaramente in precedenza che cosa si intende qui per tempo."

Wheeler, "Gravitation": "*Time is defined so that motion looks simple*"

Il tempo fisico

alcune considerazioni:

- per sviluppare la sua teoria, Einstein *non inizia* da discussioni sull'etere luminifero o sui risultati dell'esperimento di Michelson e Morley, come si trova su molti testi scolastici, *ma da una riflessione quasi "filosofica" su che cosa intendiamo per "tempo"*
- e la sviluppa con forte senso fisico e con un semplicissimo esperimento pensato, quello dell'*orologio di luce*, in cui si richiede solo l'invarianza della velocità della luce
- arrivando a rivedere il concetto di *simultaneità*
- e a derivare le *trasformazioni di Lorentz* con pochi passaggi matematici che non coprono il significato fisico, anzi lo lasciano trasparire e aiutano a capirlo



$$\begin{cases} t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right) \\ x' = \gamma (x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \end{cases}$$

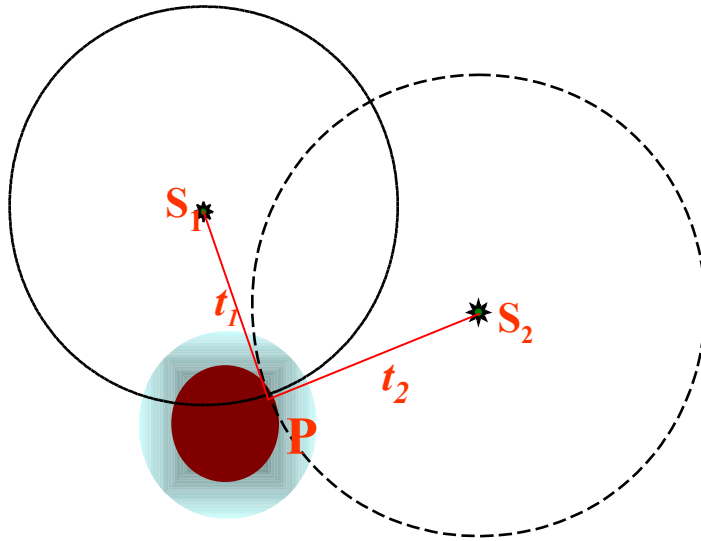
Spunti di riflessione su spazio, tempo e velocità

- dal concetto di “distanza” fra due punti a quello di “posizione” in un sistema di riferimento nello spazio
- dal concetto di “intervallo di tempo” a quello di “tempo” in un sistema di riferimento temporale
- la velocità: dalla percezione della velocità alla sua misura
- la velocità della luce e quella della propagazione dei segnali sonori ed elettromagnetici

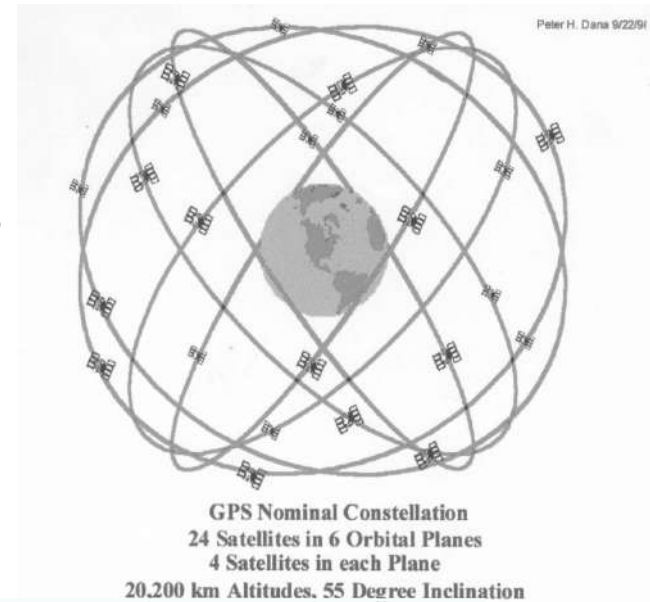
Spazio e tempo: oggi è più facile perché.....

Un esempio: usare e capire il GPS

Il GPS di navigatore satellitare o del telefono cellulare ci mettono in relazione con un *Sistema di Riferimento Globale*



misurare con il GPS il raggio terrestre: una attività semplice che si può fare nel cortile della scuola ed è un'ottima introduzione alla relatività



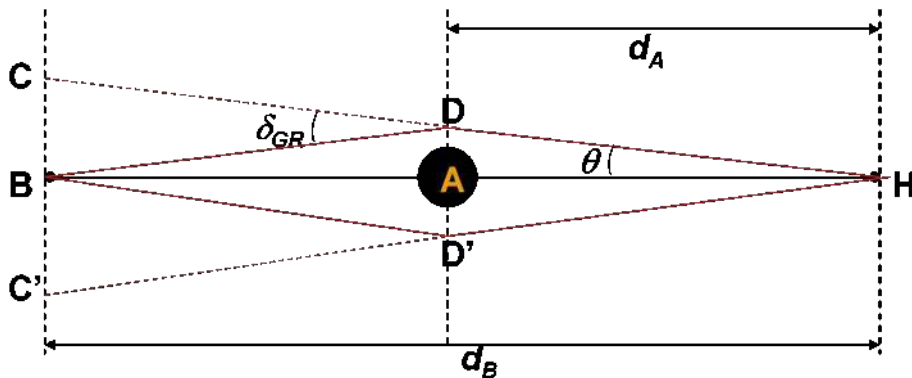
- il segnale del satellite S_i contiene, codificata, l'informazione per calcolare il tempo t_i , la distanza d_i e le coordinate di S_i all'istante dell'invio
 - con i dati di almeno tre satelliti, il GPS calcola latitudine, longitudine e altitudine nel punto P

Riflessioni sulla velocità

- percepire la velocità: la gara della corsa anche a livello di scuola dell'infanzia, la velocità in bicicletta, in auto (il tachimetro), il sorpasso.....
- passare dalla percezione alla misura della velocità: separare la distanza percorsa dal tempo impiegato
- percepire che anche i *segnali* viaggiano, iniziando da quelli sonori: viaggiando, portano informazione sulla *posizione spaziale* della sorgente
- i segnali elettromagnetici (il campanello, il telefono fisso o cellulare)
- la velocità della luce e la *simultaneità*: le stelle lontane, i buchi neri da cui sono giunte le onde gravitazionali, ...



Immagini dalle stelle



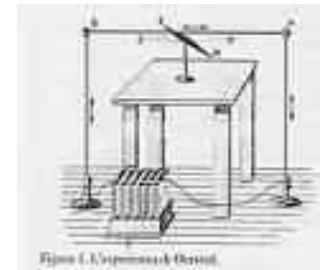
$d_A \approx 5.2$ Gly, $d_B \approx 10.3$ Gly: per noi il disco di luce A e il cerchio B sono *simultanei*, ma la luce è partita da B circa 5 miliardi di anni prima che da A!

La nuova "astronomia gravitazionale"

- il dischetto luminoso al centro dell'anello è la galassia A, LRG 3-757
- dietro la galassia A, quasi perfettamente allineata con l'asse che la congiunge al telescopio H di Hubble, c'è la galassia B, non visibile direttamente perché coperta da A
- grazie alla *deflessione gravitazionale della luce*, δ_{GR} , nel campo della galassia A, i raggi della galassia B giungono al telescopio Hubble in un cono di semiapertura θ , segnalando così la presenza della galassia nascosta
- il calcolo di Einstein (1916):
$$\delta_{GR} = \frac{4GM}{c^2 R}$$
, G =costante gravitazionale, c =velocità della luce, M =massa della galassia A, R =minima distanza dal centro di A

La "relatività" dei campi elettrico e magnetico

- oggi il concetto di campo è entrato nella vita quotidiana (il mio nipotino di 4 anni: "qui il telefono non funziona, non c'è campo")
- ma la sua storia inizia circa 200 anni fa, quando la scoperta della pila di Volta (1800) rese possibile realizzare correnti elettriche stabili e ripetibili
- esperimento di Oersted (1820): un ago magnetico devia se posto vicino a un filo percorso da corrente elettrica



domande:

- che cosa "viaggia" nel filo?
- perché, quando circola la corrente, le cariche elettriche presenti dentro il filo si fanno sentire anche "fuori"?

Galileo Ferraris, "Lezioni di elettrotecnica" (1899)

"Una corrente elettrica ha natura affatto diversa da quella di una corrente di fluido; la corrente elettrica è un fenomeno che risiede non solo nel conduttore, ma anche **nello spazio circostante**; si può anzi dire che la parte essenziale di ciò che costituisce la corrente sta nel campo magnetico circostante, *perché è nel campo che esiste l'energia, mentre invece nel conduttore non si ha che dissipazione di energia.*"



motorino elettrico

Einstein e i campi elettrici e magnetici

Einstein, "Elettrodinamica dei corpi in movimento", 1905

"Si pensi per esempio all'interazione elettromagnetica tra un magnete e un conduttore. I fenomeni osservabili in questo caso dipendono soltanto dal moto relativo del conduttore e del magnete, mentre secondo l'interpretazione consueta i due casi, a seconda che l'uno o l'altro di questi corpi sia quello in moto, vanno tenuti rigorosamente distinti. Se infatti il magnete è in moto e il conduttore è a riposo, nei dintorni del magnete esiste un campo elettrico con un certo valore dell'energia,...."

Sono queste considerazioni che, sempre dall'articolo del 1905, portano Einstein "...alla supposizione che il concetto di quiete assoluta non solo in meccanica, ma anche in elettrodinamica non corrisponda ad alcuna proprietà dell'esperienza, e che inoltre per tutti i sistemi di coordinate per i quali valgono le equazioni meccaniche debbano valere anche le stesse leggi elettrodinamiche e ottiche, come già è dimostrato per le quantità del prim'ordine. Assumeremo questa congettura (il contenuto della quale nel seguito sarà chiamato "principio di relatività") come postulato...."

Riflessioni finali

Rileggendo gli articoli originali e riflettendoci su, ci si rende conto che i "postulati della relatività" (*l'invarianza della velocità della luce e il principio di relatività*) nascono da considerazioni di senso comune e da evidenze sperimentali ben note

Domanda:

- gli esperimenti di Oersted, Faraday ecc., risalgono all'inizio Ottocento, perché occorre giungere ad Einstein e all'inizio del Novecento per capirne le implicazioni?

Altra domanda:

- perché Einstein elaborò la sua teoria della relatività ristretta negli stessi mesi in cui elaborò anche il suo modello sul "quanto di luce"?

La mia risposta è che i due temi sono strettamente legati: anche le indagini sulla natura della luce ebbero un impulso essenziale dallo sviluppo dell'ottica di inizio Ottocento (Young (1801), Fresnel, Fraunhofer, ...)

Fu necessario l'intero XIX secolo per elaborarne le implicazioni ... e l'intero XX secolo per portarle a maturazione!