

L'ipotesi di Michelson

[1] Nel 1881 Edward Williams Michelson ideò un esperimento per capire se la luce si comporti come il suono; se cioè necessiti o meno di un mezzo per propagare le sue onde nelle quali si manifesta e se sia influenzata dal movimento della sorgente o da quello del mezzo di propagazione. Per capire meglio possiamo pensare ad una sirena che nel vuoto non può far sentire la sua voce o che nella nostra atmosfera terrestre cambia tonalità a seconda che la sorgente si stia avvicinando a noi o che si stia allontanando.

A quel tempo non sembrava possibile che la luce, la sua espressione in onde luminose, potesse propagarsi senza la presenza di un mezzo da far vibrare né che lo spazio non occupato da materia fosse completamente vuoto, ma che dovesse essere occupato da un mezzo invisibile da definirsi, adatto a propagare le onde elettromagnetiche. A questo mezzo era dato provvisoriamente il nome di “etere”, in attesa di dimostrarne l'esistenza. Come conseguenza ne sarebbe derivato che esista la possibilità di definire il “fermo assoluto”, cioè di poter indicare un sistema fisico di riferimento assoluto nel quale i corpi dello spazio cosmico possano essere considerati a velocità zero. In termini tecnici vi sarebbe la possibilità di definire un sistema di riferimento privilegiato, che potremmo chiamare “spazio assoluto” o “sistema assoluto”, cui far riferimento per stabilire quale sia la velocità zero degli enti nel cosmo. Ipotizzando che questo sistema e queste evenienze potessero essere reali si considerò che in tal caso il pianeta Terra si sarebbe dovuto intendere in moto rispetto al sistema privilegiato per lo meno per una frazione di anno. Inoltre si pensò che anche la velocità della luce si dovesse considerare costante rispetto a quel sistema ma variabile se considerata da un osservatore in moto rispetto al sistema privilegiato. Si ideò quindi un esperimento che potesse dirimere la questione e confermare o meno l'esistenza dell'etere. L'idea si basò sull'ipotesi che se si manda un fascio di luce orientandolo nella direzione del moto della Terra e lo si confronta con un altro che viaggi perpendicolarmente ad esso, e lo si fa orientando successivamente i due fasci luminosi in diverse direzioni intermedie pur mantenendo un angolo retto fra di loro, allora si potrà stabilire se i due fasci abbiano viaggiato entrambi alla medesima velocità, riferita al nostro sistema, giungendo alla fine del percorso senza ritardo dell'uno rispetto all'altro; ovvero con ritardo di uno rispetto all'altro nel caso dell'esistenza di un fermo assoluto, secondo la teoria dell'etere.

Per fare questo fu costruito un *interferometro*, apparecchio che dal suo costruttore ed ideatore dell'esperimento prese il nome di Interferometro di Michelson. Questo apparecchio non conteneva circuiti elettronici, allora l'elettronica come la conosciamo oggi non esisteva, ma solo elementi ottici come lenti e specchi, oltre che una sorgente di luce. Vediamo com'è costituito.

Tenendo presente lo schema di *fig.1* ripresa da Feynman osserviamo che dalla sorgente S viene emesso un raggio di luce che punta sullo specchio B . B è uno specchio semitrasparente che in parte riflette e in parte fa passare la luce. Il raggio di luce si divide quindi in due, uno andrà verso lo specchio E , in una direzione supposta essere la medesima del movimento della Terra rispetto all'etere, l'altra andrà verso lo specchio C percorrendo una traiettoria ortogonale alla prima. Una volta specchiatosi in E e C i raggi tornano indietro e vengono nel caso di C trasmessi e nel caso di E specchiati verso il cannocchiale D dove eventualmente compariranno delle bande concentriche di interferenza che ci dicono quale sia il ritardo di un raggio rispetto all'altro, in base alla presenza delle stesse; ovvero se ritardo non ci sia.

I calcoli riportati in letteratura sui manuali per giustificare l'esperimento sono relativamente semplici (1)

(2) (3)

Tragitto parallelo al moto, secondo la letteratura

appunti

Richard Feynman

esordisce la sua esposizione indicando le distanze e i tempi impiegati dalla

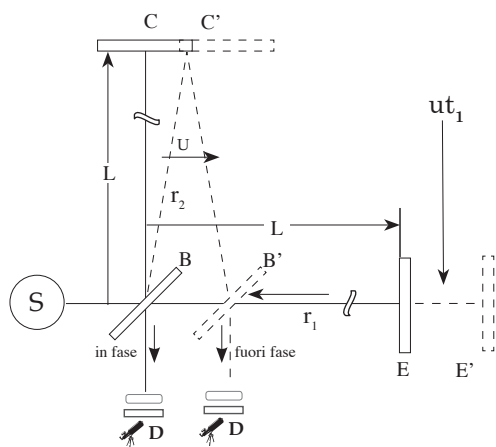


figura 1

luce per raggiungere lo specchio bersaglio posto nel verso del moto del dispositivo di verifica (nel caso la terra) ponendo la seguente formula:

$$ct_1 = L + ut_1 \quad t_1 = L/(c - u) \quad [1]$$

La formulazione sopra esposta da Feynman non si occupa della velocità del moto dell'onda e scrive: "ora mentre la luce viaggia da B allo specchio E, il dispositivo si muove di un tratto ut_1 così la luce deve percorrere un tratto $L + ut_1$ alla velocità c ". Servirà un tempo L/c per giungere a E e servirà un ulteriore tempo dt per coprire la distanza ut_1 . Viceversa al ritorno, tenendo conto che la distanza da percorrere sarà minore essa sarà espressa così:

$$ct_2 = L - ut_2 \quad t_2 = L/(c + u) \quad t_1 + t_2 = L/(c + u) + L/(c - u) = \frac{2L/c}{1 - u^2/c^2} \quad [2]$$

Resnik:

"L'interferometro che si muove insieme alla terra alla velocità u rispetto all'etere è equivalente ad un interferometro fermo rispetto al quale l'etere si muove con velocità $-u$, . . . Nell'ipotesi che esista l'etere la velocità della luce nel tratto MM_1 è $c + u$ e nel tratto di ritorno è $c - u$. Il tempo necessario per il percorso completo è :

$$t_1 = -\frac{d}{c + u} + \frac{d}{c - u} = \frac{2d}{c} \frac{1}{1 - (u/c)^2} \quad [3]$$

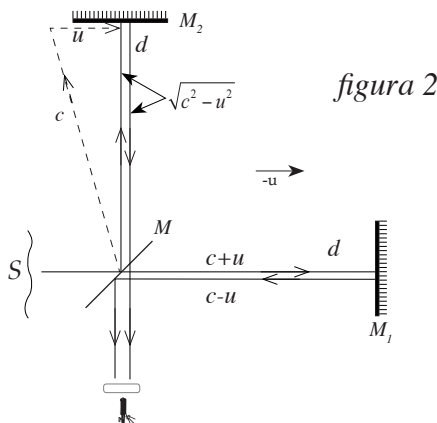


figura 2

(1) C. Kittel, W.D. Knight, M. A. Ruderman - La fisica di Berkeley-Meccanica; Zanichelli Bologna, 1970
 (2) Richard P. Feynman - La fisica di Feynman-vol.1 meccanica,radiazione,calore; Zanichelli Bologna, 2001
 (3) D. Halliday, R.Resnik - Fisica-Parte II - casa ed. Ambrosiana Milano, 1970

La fisica di Berkeley

“Un'applicazione elementare della trasformazione Galileiana al problema del moto richiede che la velocità della luce nel sistema dell'osservatore sia diversa da c . Secondo il senso comune ci si aspetta che la velocità della luce c_0 rispetto all'osservatore (in moto) sia data da:” $c_0 = c \pm V$

[2] Tragitto ortogonale al moto, secondo la letteratura

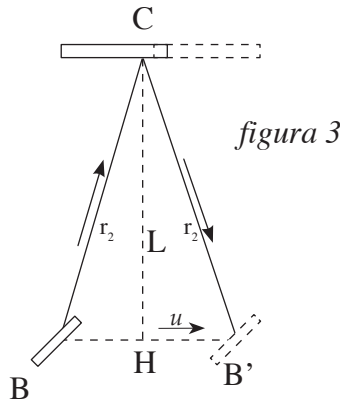
Esaminati gli eventi secondo la direzione del moto consideriamo ora quanto viene riportato in letteratura relativamente al moto del raggio ortogonale alla direzione del moto della terra, come si può evincere anche da *figura 1*. A causa del moto dell'apparecchio si dice che anche gli specchi B e C avanzino e viene inteso che il raggio di luce sia trascinato dal moto dell'apparecchiatura, e quindi della terra, così anche in Feynman. Pertanto il tragitto viene indicato composto dalle ipotenuse dei due triangoli rettangoli BCH e HCB'. Dai calcoli risulterà che lo spazio percorso e il tempo impiegato saranno quelli di *figura 3* e *formule [4]*. Quindi percorso e tempi risultano maggiori che se non vi fosse moto del dispositivo.

Fino qui i risultati offerti correntemente dalla letteratura.

$$BC^2 = (ct_3)^2 = L^2 + (ut_3)^2$$

$$L^2 = c^2 t_3^2 - u^2 t_3^2 = (c^2 - u^2) t_3^2 \quad [4]$$

$$t_{BCB'} = 2L / \sqrt{c^2 - u^2} \quad (> 2L/C)$$



[3] - Considerazioni sul moto delle onde

Se lasciamo cadere un sasso su di una superficie d'acqua vediamo il formarsi di onde concentriche circolari che si propagano dal punto di caduta appunto concentricamente. Se lanciamo un sasso obliquamente, diamo all'energia trasmessa all'acqua dal sasso anche una componente orizzontale parallela alla superficie d'acqua. Nonostante questo, se osserviamo il propagarsi dell'onda, notiamo che essa è ancora circolare e concentrica al punto di ingresso del sasso nell'acqua, vale a dire con la velocità di propagazione dell'onda uguale in tutte le direzioni. Ciò significa che la traiettoria d'ingresso non modifica la velocità di propagazione dell'onda nelle varie direzioni; caso mai ne potrebbe modificare l'ampiezza. Per questo motivo, superando la velocità del suono gli aerei si lasciano dietro il rumore o le navi non producono onde avanti la loro rotta mentre navigano ed infine ce lo dice anche l'effetto Doppler acustico ove varia la frequenza e non la velocità del suono a seconda del moto del generatore. Se ne deduce che è comportamento intrinseco all'ente onda il dipendere la sua velocità di propagazione dalle caratteristiche e dello stato del mezzo in cui si manifesta e non dal moto dell'apparecchiatura che le produce.

Queste considerazioni minano l'osservazione secondo la quale l'onda luminosa avrebbe diverse velocità a seconda che il nostro dispositivo proceda nel verso della terra o in quello opposto, stante l'apparecchiatura solidale alla terra. In realtà è solo per l'osservatore che sta sulla Terra

che la velocità della luce sarà diversa a seconda che il raggio viaggi nel verso del moto della Terra o in quello opposto. A maggior ragione l'errore si evidenzia nel considerare il movimento dell'onda-raggio che viaggia in direzione ortogonale al moto del generatore. Qui, visto dal di fuori, all'osservatore esterno il moto dovrà apparire senza componente di velocità nel verso del moto, mentre a quello solidale alla sorgente sembrerà che il raggio resti indietro.

L'errore concettuale della letteratura è che la luce viene considerata nei calcoli come un oggetto materiale soggetto al relativismo del moto; ma le onde non sono esse stesse materiali o fisiche ma entità astratte che prendono esistenza appoggiandosi su un altro ente che ne subisce il moto. Possiamo immaginare che tale inganno sia suscitato dalla concezione corpuscolare della luce che si è insinuata anche nel ragionamento sull'onda.

Se esistesse l'etere dovremmo immaginare la sorgente dell'onda come qualcosa che lancia dentro nell'etere la generazione dell'onda la quale si muove poi con la medesima velocità di propagazione in ogni direzione. La velocità dell'onda dipende eventualmente dallo stato di moto dell'etere in rapporto all'osservatore, e non dal movimento del dispositivo di generazione rispetto all'etere. Per pura fortuna i conti delle grandezze relative alla direzione del moto tornano comunque in Resnik e Berkeley in quanto, stante la velocità costante della luce rispetto all'etere, lo spazio da percorrere in più all'andata corrisponde a quello da percorrere in meno al ritorno; così viene celato l'errore di impostazione iniziale, che non compare in Feynman grazie a diverso procedimento logico da lui seguito.

[4] *Esame del problema*

Ora riproponiamo l'esame del problema nelle diverse possibilità che si possono presentare. Per trarre gli elementi di giudizio viene predisposto l'esperimento con i medesimi elementi precedentemente descritti.

Ecco quali possibilità si presentano.

Consideriamo che la luce che si propaga sulla Terra, all'interno del sistema dell'esperimento, potrebbe comportarsi in tre modi distinti; casi:

1) La sua velocità potrebbe essere legata e definita in rapporto al sistema di riferimento fisso, quello dell'etere per intenderci, senza subire influenza alcuna dal movimento dell'apparato di misura nello spazio, legato al moto della terra, secondo il punto [3] sopra detto.

2) Potrebbe essere invece che la nostra massa terrestre sia in grado di sottrarre una parte del supposto etere al riposo fisso universale trascinandolo con sé e e quindi porre la luce generata sulla Terra nelle condizioni di essere dipendente dall'etere in movimento con la Terra stessa e non da quello fisso cosmico generale.

3) Vi è poi la terza ipotesi, che è quella oggi accettata: niente etere ma campi di forze nel vuoto, con la luce che sottostà alla relatività speciale.

Caso 1 : esiste un *etere fisso* nel cosmo per la propagazione delle onde elettromagnetiche, l'etere determina il "fermo assoluto"

ipotesi (a) : siamo osservatori a *velocità 0* (zero) rispetto all'etere, fuori dalla Terra che è in movimento, osserviamo il movimento del dispositivo ancorato alla Terra

Punto I : percorso del raggio r_1 , direzione e verso della velocità della Terra

Consideriamo la situazione di *fig.1*.

Nel condurre l'esperimento poniamoci al di sopra della Terra e situiamoci solidali, cioè fermi, rispetto al sistema di riferimento supposto fisso dell'universo. Stante queste premesse dobbiamo considerare che la luce viaggia sempre alla sua velocità c rispetto al sistema fisso ed in ogni direzione.

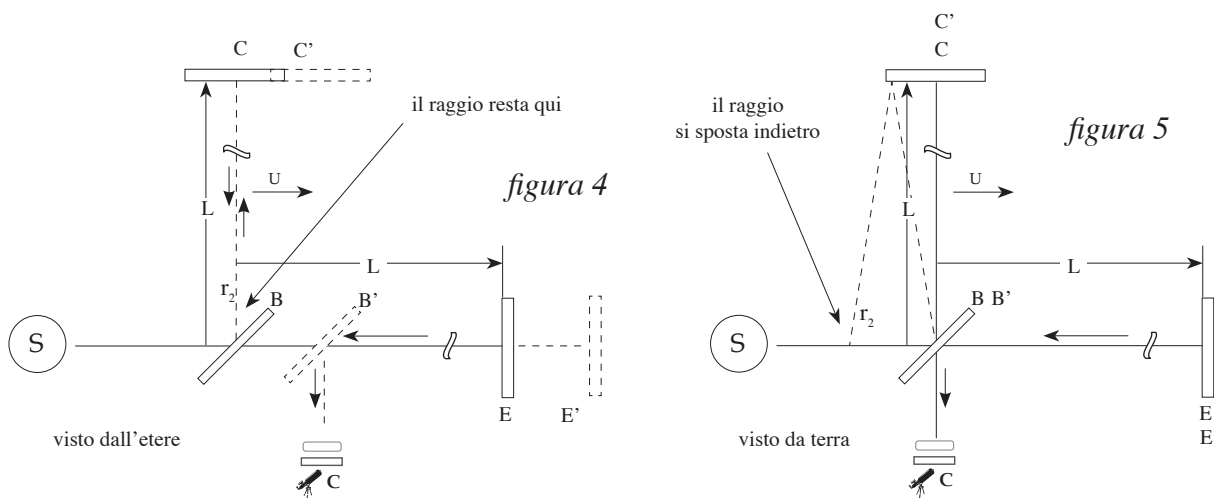
Osservando dalla nostra posizione privilegiata noteremo che lo spazio percorso da r_1 all'andata sarà dato da L nel tempo t_1 più il valore dello spostamento di ut_1 nel verso di u per una lunghezza totale di $L+ut_1$. Al ritorno invece, grazie all'avvicinarsi dello specchio P lo spazio da percorrere sarà solo $L-ut_1$. Le distanze percorse da r_1 in andata e ritorno saranno $2L$. I tempi all'andata saranno $2L/c$. L'osservazione del raggio r_1 che si propaga nella direzione e verso della velocità della Terra ci farebbe apparire lo specchio B durante l'andata in fuga dal raggio r_1 e durante il ritorno lo specchio B in movimento incontro a r_1 che ritorna.

Che noi possiamo supporre quanto sopra deriva dal comportamento della propagazione delle onde in un mezzo come esposto in [3].

Caso 1 : esiste un *etere fisso* nel cosmo per la propagazione delle onde elettromagnetiche, l'etere determina il "fermo assoluto"

ipotesi (a) : siamo osservatori a *velocità 0* rispetto all'etere, fuori dalla Terra che è in movimento.

Punto II : percorso del raggio r_2 direzione e verso ortogonali al moto della Terra.



Per capire quale sia il percorso del raggio r_2 ortogonale al moto della Terra dobbiamo tenere presente quanto esposto a proposito del propagarsi delle onde in un mezzo, punto [2]. Avevamo visto che la propagazione delle onde non è influenzata dal moto della sorgente bensì è determinato dallo stato di moto del mezzo di propagazione, solido, liquido, aeriforme . . .

Figura 4. Osservando da fuori al di sopra della Terra a velocità 0 rispetto all'etere vedremo il raggio procedere perpendicolarmente al moto della Terra. Il tragitto del raggio r_2 avverrà secondo il segmento BC solidale al sistema "fisso". La sua velocità sarà c ortogonale alla direzione di lancio grazie allo specchio B e per i motivi prima esposti, ed il tempo di percorrenza sarà ct_1 .

Figura 5. Considerando il moto della Terra e del dispositivo, chi è sulla Terra vedrà che il raggio "scappa" all'indietro. Se misurerà lo spazio percorso lo troverà su di un'obliqua, di lunghezza maggiore di $2L$ data da $d = 2\sqrt{L^2 + (ut)^2}$. Il raggio r_2 ortogonale di ritorno di ritorno non col-

limerà col raggio r_1 di ritorno parallelo al moto della terra ma sarà spostato, sullo specchio, verso la sorgente, con ripercussioni sulla lettura nel canocchiale.

Il tempo scorrendo per entrambi i raggi, paralleli ed ortogonali, alla stessa velocità, in quanto non è stata ancora formulata l'invarianza di c , se ne deduce che la velocità misurata da terra sulla "obliqua" sia maggiore di c .

La letteratura cosa dice?

In Resnik e in Berkely fin da subito nella *direzione parallela* a \vec{u} si era dichiarata la composizione della velocità dell'apparato con c mentre in Feynman non veniva detto. In Resnik si afferma un'equivalenza tra un interferometro che si muova insieme alla terra con velocità u rispetto all'etere, e uno che stia fermo e rispetto al quale l'etere si muova a velocità $-u$. Che possa essere così da un punto di vista matematico, formale, può essere accettato, ma che lo possa essere anche da un punto di vista fisico non lo sappiamo. Non sappiamo se spazio ed etere siano comutativi rispetto alla velocità.

Passando a considerare la *direzione ortogonale* a \vec{u} invece gli autori si uniformano nel ragionamento. Si evidenzia come la loro immagine grafica preveda che il raggio debba spostarsi "avanti", come se guardando dall'etere fisso si vedesse che l'etere terrestre dell'esperimento fosse trasportato in avanti dalla terra (figura 2). Non viene detto però quale sia il punto di vista degli autori.

A) l'esperimento potrebbe essere osservato dal punto di vista *solidale all'etere* fisso: allora il raggio dovrebbe apparire procedere ortogonalmente alla velocità c ; oppure

B) potrebbe essere *visto dalla terra* ed allora si dovrebbe vedere il raggio retrocedere rispetto all'ortogonale iniziale. Un paradosso che si verificherebbe secondo questo punto di vista è che per velocità u molto elevate o prossime a c il tempo per il rispechiarsi sullo specchio C tenderebbe esso stesso all'infinito, formula [4]. Da questa esposizione della letteratura si forma l'idea che il moto del generatore di un raggio possa determinare il rallentamento anche del raggio lanciato secondo l'ortogonale del moto del dispositivo.

Caso 2 : esite un *etere fisso* nel cosmo per la propagazione delle onde elettromagnetiche, l'etere generale che circonda la Terra in movimento è *trascinato* dalla sua massa

ipotesi (a) : siamo osservatori a *velocità 0* rispetto all'etere, siamo *fuori dalla Terra* che è in movimento.

Nel caso in cui l'etere fosse trascinato dalla Terra un osservatore esterno, solidale al sistema fisso potrebbe misurare velocità dei raggi diversi da quelli che usualmente conosce. Nella dire-

zione della velocità della Terra misurerebbe velocità superiori a C all'andata ed inferiori a C al ritorno, l'inverso di quanto succedeva nel caso precedente per l'osservatore che stava sulla Terra. Per quanto riguarda il percorso ortogonale osserverebbe il comporsi della velocità c ortogonale con la velocità U della Terra, ricalcando ora lo schema di [4] della letteratura, ma non i calcoli di quest'ultima; il tempo impiegato per il tragitto BCB' sarebbe $2t_3$, tondo tondo.

Uno sarebbe il dato comune ai due osservatori: che i raggi parallelo ed ortogonale al ritorno dai loro percorsi sono osservati giungere assieme sulla specchio P .

(2010-2012)

Caso 2 : esiste un *etere fisso* nel cosmo per la propagazione delle onde elettromagnetiche, l'etere generale che circonda la Terra in movimento è *trascinato* dalla sua massa ipotesi (b) : osserviamo stando a velocità 0 (zero) *sulla la Terra* in movimento con essa.

Nel caso in cui l'etere fosse trascinato dalla Terra stando sulla medesima nessuna variazione di velocità verrebbe rilevata rispetto a C dei due raggi e nessun ritardo vi sarebbe tra i raggi r_1 ed r_2 in quanto a tutti gli effetti la Terra costituirebbe un sistema autonomo, ed il solo a cui i raggi possano riferirsi e da cui possano essere influenzati. All'osservatore sembrerebbe di essere fermo.

Caso 3 : *non esiste un etere* fisso nel Cosmo; la misura della velocità della luce è sempre la stessa in ogni sistema di riferimento, che sia in moto o meno.

Nel caso si accetti le formulazioni della relatività speciale si considera che non vi sia modo per capire se il proprio sistema di riferimento, nel quale si svolge l'esperimento, sia in moto rispetto agli altri, sottintendendo di non guardare dalle finestre del sistema fuori verso gli altri sistemi. Per spiegare questo comportamento delle onde elettromagnetiche è stata formulata l'ipotesi che nei sistemi in movimento vi sia una riduzione delle *lunghezze* nella direzione della velocità del sistema. Ovvero si ipotizza un rallentamento dello *scorrere del tempo*, stante la costanza di c . Nell'impostazione di queste analisi si pone tuttavia un problema di metodo. La letteratura si esprime continuamente scrivendo che "nel sistema in moto uniforme" o "sul treno in moto uniforme" o "su un'automobile che viaggia a $9/10$ di c "; e così via con esempi simili, confrontando questi sistemi con un altro considerato fermo.

Quello che si vuole dimostrare con la relatività speciale è che tutti i sistemi sono equivalenti.

Per farlo però nelle premesse si afferma già il contrario. Vale a dire: per formulare un'idea ci si basa su presupposti che ne sono l'opposto. Infatti se dobbiamo dimostrare che tutti i sistemi sono equivalenti rispetto al moto, non ci è lecito supporre che un sistema sia fermo e che l'altro sia in moto in quanto così già si determina un privilegio nelle premesse. Non vi è infatti nessun motivo per definire il primo dei due sistemi in moto e l'altro fermo, piuttosto che l'altro in moto ed il primo fermo. Ne consegue che non possiamo sapere quale dei due sistemi subisca contrazione delle lunghezze né rallentamenti del tempo. Alla base di questa visione vi è in sostanza un errore procedurale di logica.

La Massa

Analoghe considerazioni possiamo farle riguardo la massa dei corpi. In letteratura si dice che accelerando dei corpi a velocità relativistiche parte dell'energia cinetica impiegata si commuti in massa, che diventerebbe infinita prima di raggiungere completamente la velocità di C .

La formula in questione sarebbe:
$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

La domanda che ora ci poniamo è: qual'è il sistema fermo che misura l'incremento di m_0 a m_1 e qual'è quello in cui si verifica l'incremento?

La formulazione sopra esposta non ci parla di accelerazioni ma solo di velocità. Se in un sistema isolato possiamo avere notizia certa dell'accelerazione in quanto da noi può essere vissuta come tale ovvero come gravità, della velocità non possiamo avere notizia. Gli sperimentatori del sistema s_0 , correlato a m_0 potranno dire agli sperimentatori del sistema s_1 , correlato ad m_1 , "il vostro sistema è stato portato a velocità prossima a C e quindi la vostra massa è ora smisuratamente aumentata. Gli sperimentatori del sistema s_1 potranno dire: "Vi state sbagliando, noi siamo rimasti leggeri, siete voi che siete in moto ed è la vostra massa che è divenuta smisuratamente grande". Come dargli torto.

Per dimostrare le conseguenze della relatività speciale ci si appoggia su basi che la negano. Si potrebbe obiettare che è il sistema s_1 che viene accelerato, cioè che riceve energia. Tuttavia l'aspetto formale della relatività speciale non accenna nei suoi risultati a questo fatto dell'accelerazione ma solo alla velocità. Se in un qualche modo si riuscisse a coinvolgere nelle formulazioni anche l'accelerazione, quindi forza e lavoro, bisognerebbe che qualcuno ci dicesse se quella che chiamiamo accelerazione sia veramente tale o non sia piuttosto una decelerazione da una precedente accelerazione di verso opposto. Ma questo non sarebbe dato sapere in quanto il nostro dato iniziale è solo inerente alle velocità relative dei due sistemi.

Vi è poi il problema del *red-shift*, del fatto cioè che ci si basi sullo spostamento delle righe dello spettro degli elementi atomici verso il rosso per stabilire le velocità di allontanamento dei corpi celesti dal nostro punto di osservazione. Infatti questo effetto, l'effetto Doppler, può verificarsi solo se vi sia un movimento della sorgente "rispetto" al mezzo portatore dell'onda, ovvero un movimento del ricevitore "rispetto" allo stesso mezzo portatore dell'onda.

Anche qui resta il dubbio se il red-shift indichi la distanza del corpo celeste e non piuttosto una misura della massa gravitazionale dell'emettitore, stante che la massa può alterare lo scorrere del tempo.

(giu 2003 - mag 2011)