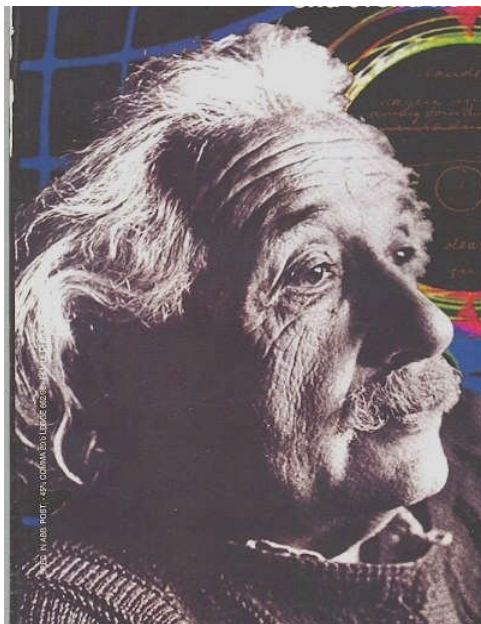


Scusa Albert



Il principio di relatività non mi convince

La teoria della Relatività spogliata del principio di relatività

si trasforma

nella

“ Teoria della Relatività inerziale ”

Angelo Montorsi

(Prefazione del prof. Silvio Bergia)

Prefazione (*)

Chi pensa che questa sia l'ennesima operazione commerciale, messa in piedi a fine di lucro, sfruttando l'enorme popolarità di Einstein ha colto nel segno.

In passato ho scritto un improbabile libello, (mai dato alle stampe) dove cercavo di incuriosire il lettore con mezzucci tipo: << inutile che continui a leggermi, ti ho fregato e se mi stai leggendo vuol dire che il tuo obolo, acquistando questo libro lo hai già versato.>> ; << Ti sono grato per la generosità, consiglane l'acquisto agli amici e la mia gratitudine diverrà eterna >> oppure << sei stato bene fino ad ora chi te lo fa fare di continuare a leggere...>>.

Poco tempo fa, un libro (dal titolo irripetibile), che faceva capolino sugli scaffali di un supermercato, ha catturato la mia attenzione ed ho provato incuriosito, a scorrerne le prime pagine, ritrovandovi lo stile ironico che già mi era familiare.

Da qui è nata l'idea di provare a tediarti con discorsi sulla fisica e la relatività utilizzando questa forma di comunicazione.

Devi sapere unico ed incauto lettore arrivato fino a questo punto della lettura, che circa un anno fa, ho scritto un saggio dal titolo: "Gravitazione Etere Relatività", giudicato dagli amici << noioso e con troppe formule>>; mentre i redattori delle nove riviste a carattere scientifico alle quali lo ho inviato, hanno in generale sentenziato: << Il lavoro è interessante ma non è adatto al taglio divulgativo della nostra rivista, dovrebbe rivolgersi a qualche fisico esperto in teoria generale della relatività>> (come se fosse facile trovarne uno disponibile ad ascoltarti).

Alla fine sono riuscito a pubblicarlo per i tipi di una piccola casa editrice, la quale stampa i titoli del suo catalogo su richiesta; il mio titolo credo non sia ancora stato richiesto da alcuno.

L' intento di questo scritto è di presentare una visione del mondo fisico, che fa a meno del principio di relatività ed è altrettanto efficace, nello spiegare i fenomeni relativistici, della visione comunemente accettata e divulgata dalla comunità scientifica.

In altre parole, se non hai mai capito come funziona la relatività, continuerai a non capirci niente, però mi avrai reso felice col tuo obolo (dal punto di vista umano, credimi non è cosa da poco).

Quello che cercherò di fare per onestà intellettuale e per evitare una segnalazione di truffa ad opera delle associazioni dei consumatori, sarà di illustrare il mio punto di vista sulla questione evocata nel titolo, in modo scanzonato e leggero, possibilmente divertendoti (sta qui la fregatura, su quella questione non si è mai divertito nessuno, eccetto Albert).

Se riuscirò nell' intento, vorrà dire che ho trovato un modo nuovo per la comunicazione del sapere scientifico e forse passerò alla storia, non per aver messo in discussione l'opera di Einstein (quando oramai quasi nessuno lo fa più), ma per le qualità divulgative.

L' autore

() La prefazione di solito la scrive qualcuno che se ne intende.*

In questo caso l'ho scritta io, perché quelli che se ne intendono, solitamente non mettono a rischio la loro reputazione sponsorizzando idee che non sono più di moda; soprattutto se sono di uno sconosciuto autodidatta. Non vorrei qualcuno pensasse ad una persecuzione (magari di stampo galileiano), semplicemente gli intenditori non sono stati contattati per mio pregiudizio e forse non lo meritano (di non essere stati contattati).

Infine, per affrontare quella che ho chiamato <<La battaglia di Guttemberg>>, cioè la difficoltà a trovare un editore disponibile alla pubblicazione di questo scritto, sono riuscito a contattarne uno, concludendo che il mio pregiudizio era irragionevole.

Prefazione di un ortodosso

(Nota dell'autore: Titolo proposto dal prof. Silvio Bergia)

Ho raccolto volentieri l'invito a scrivere una breve prefazione a questo scritto di Angelo Montorsi, anche se non condivido le sue perplessità di fondo nei confronti di quella cosa che tutti, lui e me compresi, chiamano, impropriamente¹, teoria della relatività. L'ho raccolto per tre motivi: il primo – assai generico – si ispira al vecchio motto che suona più meno così: non condivido le tue idee ma difendo il tuo diritto ad esprimerle. Dico subito che, almeno per me, questo non sarebbe un motivo sufficiente, almeno in ambito scientifico. In questo ambito – almeno in questo ambito – credo si debba chiedere qualcosa di più: questo qualcosa è il metodo nel porgere. Se questo manca, se le idee non sono esposte in modo razionale ed autoconsistente, fanno parte del proclamato, così in voga nell'Italia di oggi, e non dell'argomentato. Ed ecco allora il secondo motivo per cui ho raccolto l'invito: il requisito in questione è soddisfatto dall'esposizione dell'autore.

*Mi sia concessa una piccola divagazione, che mi è suggerita dall'accento al presente e che ha strettamente a che fare con quanto ho appena detto. Il discorso verte qui intorno ad Albert Einstein. Il quale, come accennato da Montorsi, pubblicò nel 1905 un articolo "sulla relatività" e uno "sull'effetto fotoelettrico"². Vorrei intanto ricordare che, nel menzionarli con una lettera all'amico Habicht, egli qualificava di "molto rivoluzionario" il secondo, e non il primo. Segnalo l'episodio a chi, per ventura, volesse rifletterci sopra. Ma veniamo a quel secondo articolo, che risulta, alla lettura, essere molto di più che un articolo sull'effetto fotoelettrico: in esso infatti, fra molte altre cose, si avanzava "l'ipotesi euristica" che la luce potesse comportarsi, in date circostanze, come se fosse composta di quanti localizzati di energia. Tutto questo in un articolo inviato a una rivista scientifica prestigiosa, gli *Annalen der Physik*, da un oscuro impiegato presso l'Ufficio Brevetti di Berna e in un'epoca in cui, da più di un secolo, si era affermata una concezione della luce che la vedeva come un fenomeno ondulatorio. Un corrispettivo ai giorni nostri potrebbe essere quello di un impiegato di Hera che mandasse al *Physical Review* un articolo in cui si avanzasse l'ipotesi che gli atomi stanno insieme perché dei ganci tengono attaccati gli elettroni al nucleo. L'articolo fu accettato senza che la redazione facesse una piega. L'articolo dell'ipotetico impiegato di Hera sarebbe oggi occasione di qualche franca risata, e comunque finirebbe nel cestino della carta straccia; e sono pressoché sicuro che nessuno si prenderebbe neanche la briga di informare l'autore che il suo articolo è stato esaminato e respinto. Questa breve storia ha due morali: la prima è che la regola, che chiamerei deontologica prima ancora che epistemologica, che comporta il dovere di vagliare uno scritto sottoposto a giudizio, quanto meno di rispondere accusandone ricezione, non vale nel mondo di oggi, dove sono diventate impopolari le più elementari norme di educazione, di convivenza civile, di correttezza (i tre termini non sono sinonimi, e non saprei come ordinarli gerarchicamente). La seconda – qui più di rilievo – è che la redazione degli *Annalen*, che, letto l'articolo di Einstein, pur giudicandolo francamente eretico,*

¹ Il mondo è convinto che esista una cosa strana, una teoria para-filosofica, partorita dalla mente balzana di Albert Einstein. Più realisticamente credo si possa dire che siamo in presenza di un capitolo della fisica al cui sviluppo hanno contribuito, nel corso di un secolo, migliaia di fisici e che ha ricevuto migliaia di controlli sperimentali, talché sembra si possa dire che non è più filosofica della meccanica dei fluidi e che non appartiene esclusivamente a quello che si considera il suo fondatore più di quanto non appartenga esclusivamente a Maxwell il capitolo della fisica che chiamiamo elettromagnetismo.

² In realtà in quell'anno ne pubblicò altri tre, di importanza confrontabile. Ho virgolettato le espressioni, che sono di uso comune, in quanto non rendono pienamente giustizia al contenuto degli articoli.

lo accettò per la pubblicazione, lo fece superando i propri pregiudizi quasi certamente sulla base della considerazione che l'articolo era metodologicamente corretto.

Ma inizialmente alludevo a tre motivi, e finora ho accennato solo a due di essi. Qual è dunque il terzo? Esso ha a che fare con il tono. Sì, perchè c'è modo e modo di presentare le cose anche restando sul piano della correttezza metodologica. Chi scrive ha la (s)ventura di figurare in rete – in Internet, come si dice – come docente di relatività. Come tale è fatto bersaglio da anni di un tipo di corrispondenza, che lo ha fatto concludere di trovarsi di fronte a una sindrome dai contorni ben definiti. In essa traspare infatti fin dalle prime righe un condiviso atteggiamento di fondo, che si potrebbe riassumere così: 1) c'è stato un imbroglione (vi lascio indovinare di chi si tratti) che ha voluto turlupinarci tutti con le sue trovate in malafede; 2) ma a me, che sono persona di grande acume e, soprattutto, dotata di un elementare buonsenso, non me l'ha fatta; 3) ho provato una volta per tutte che i discorsi della mente perversa dell'uomo di cui sopra non stanno né in cielo né in terra; 4) vediamo se riesco a porre in difficoltà l'ottuso idiota a cui indirizzo il mio illuminante saggio, anche se sono sicuro che o non capirà, per la ragione appena detta, o farà finta di non capire perché anche lui in malafede come quello di cui sopra, – cosa che mi gratificherà ulteriormente come riprova dell'universale stupidità/malafede e della mia luminosa intelligenza che non è disposta a transigere quando è in gioco LA VERITÀ.

Ebbene, se Dio vuole, il nostro autore, che pure ha, a sua volta, convinzioni che appaiono difficilmente modificabili, si presenta fin dall'inizio al lettore in modo ben diverso. E basterà leggere, per cominciare, la dichiarazione d'intenti della Prefazione: «Quello che cercherò di fare [...] sarà di illustrare il mio punto di vista sulla questione evocata nel titolo, in modo scanzonato e leggero, possibilmente divertendoti». E aggiunge: «Se riuscirò nell'intento, vorrò dire che ho trovato un modo nuovo per la comunicazione del sapere scientifico e forse passerò alla storia, non per aver messo in discussione l'opera di Einstein (quando oramai quasi nessuno lo fa più), ma per le qualità divulgative». Il tono lieve è ripreso anche più avanti, come quando Montorsi si augura di «aver innestato il seme della curiosità» nel lettore e di essere riuscito qua e là a strappargli un sorriso. È una bella differenza, ammettiamolo, rispetto al tono di sarcastico e trionfante rimbrotto degli scritti che evocavo sopra. Ed è qualcosa che invita ad affrontare serenamente la lettura.

Che ci propone un modo diverso da quello einsteiniano (quello condiviso dalla larga maggioranza dei fisici) di affrontare e descrivere l'insieme delle questioni, essenzialmente di carattere cinematografico, affrontate da quella che – mi ripeto – chiamiamo teoria della relatività. Si tratta, in sostanza, di una originale riproposizione della teoria dell'etere stazionario, la teoria che individua un sistema di riferimento privilegiato, rispetto al quale, e solo rispetto al quale, la velocità della luce nel vuoto ha un valore fissato. Dico originale perché, come l'autore ci ricorda a pagina 12, nel suo «Gravitazione Etere Relatività», egli aveva «ricavato delle trasformazioni di coordinate che, nella sostanza erano identiche alle “Trasformazioni inerziali” presentate dal prof. Selleri; si differenziavano da esse solamente per le notazioni utilizzate e per il diverso modo di raccogliere i termini». In più, come pure l'autore ci ricorda, egli ha in seguito «affinato il modello, rendendolo più aderente alla realtà empirica».

Due osservazioni. La prima: un modo diverso e indipendente di ricavare un risultato è, in generale, degno di attenzione. La seconda: l'operazione di Selleri e dunque anche quella di Montorsi sono legittime, almeno da quando è chiaro ai più che uno stesso quadro sperimentale permette chiavi di lettura diverse. Tanto più se, come in questo caso, non si è in presenza di un verdetto definitivo circa l'effettiva distinguibilità fra di esse.

Appare condividere questa conclusione l'autore stesso quando, nelle Conclusioni, scrive: «Questa nuova teoria, che ho chiamato “Teoria della relatività inerziale”, ha la capacità di

spiegare il risultato di tutti gli esperimenti, che sono stati eseguiti a supporto della sua [della relatività ristretta – N.d.R.] validità nel corso del secolo, che ci separa dalla sua presentazione nel 1905 e quindi non presenta, da questo punto di vista, elementi di novità».

Silvio Bergia

Prefazione originaria

Questo é il diario di bordo, del viaggio compiuto dall'autore nel mondo della teoria Einsteniana, viaggio che inizia con la conoscenza marginale della teoria appresa su documentazione a carattere divulgativo e termina col rifiuto del principio di relatività, come enunciato nella formulazione della teoria del 1905 (Relatività speciale).

Il viaggio comprende la rivisitazione storica del quadro culturale nel quale Einstein inserì la sua teoria ed il modo nel quale l'autore, acquisendo sempre maggiore consapevolezza, dei problemi fisici che la ispirarono, approda alla conclusione, (in un primo tempo ritenuta originale) che il principio di relatività è incompatibile con l'esistenza di uno spazio vuoto, dotato di proprietà fisiche (etere) e che la validità del suddetto principio crea più problemi alla fisica di quanti ne risolve.

L' esposizione mantiene un carattere puramente divulgativo e quasi esente da formalismo e notazioni matematiche, i quali trovano il loro sfogo in appendice.

Anche questa dell'autore

P.S.: Se la presentavo così, quasi nessuno avrebbe letto questo Post Scriptum.

Indice:

<i>Prefazione</i>	<i>pag.</i>	1
<i>Prefazione di un ortodosso</i>	"	2
<i>Prefazione originaria</i>	"	4
<i>Introduzione</i>	"	6
<i>Prima parte - Cenni storici</i>	"	8
<i>Seconda parte - Il principio di relatività</i>	"	14
<i>Terza parte - Le trasformazioni inerziali</i>	"	22
<i>Bibliografia</i>	"	28
<i>Appendice 1 – La contrazione di Lorentz e Fitzgerald, dall’esperimento di Michelson e Morley</i>	"	29
<i>Appendice 2 – Le trasformazioni inerziali</i>	"	34
<i>Appendice 3 – La trasformazione inerziale delle velocità</i>	"	37
<i>Appendice 4 – L’intervallo invariante per trasformazioni inerziali</i>	"	40
<i><u>“Teoria della relatività inerziale”</u></i>	"	46
<i><u>“La battaglia di Guthemberg”</u></i>	"	75
<i>Appendice a) - Lo spazio-tempo curvo degli osservatori inerziali</i>	"	81
<i>Appendice b) - L’equazione di D’Alembert generalizzata</i>	"	84
<i>Appendice c) - La generalizzazione delle equazioni di Maxwell</i>	"	88

Introduzione

Il primo incontro con la Teoria della Relatività di Einstein, risale al tempo oramai lontano, (1974) nel quale ero dedito allo studio della fisica del biennio propedeutico al corso di laurea in Ingegneria meccanica, (biennio concluso, laurea mai conseguita).

L'iscrizione al corso di ingegneria, era il proseguimento di un programma di studio come autodidatta, che mi ero imposto durante il periodo del servizio militare (prestato nelle file della Marina Militare Italiana dal 1971 al 1973) e mi aveva valso il conseguimento del diploma di maturità in Termotecnica (nota autobiografica).

Ricordo ancora lo slogan pubblicitario per l'arruolamento volontario, questi recitava: <<Vieni in Marina, sarai un tecnico e girerai il mondo.>>; il mio arruolamento non fu affatto volontario, ma la conseguenza del periodo di ferma militare, che veniva imposto ai giovani maschi italiani classe 1951, i quali non erano affatto entusiasti di diventare dei tecnici e neanche, di girare il mondo sulle carrette della Marina Militare (non erano mica le navi della Costa Crociere).

Complice della destinazione in Marina, la specializzazione conseguita in un corso professionale per riparatore auto (almeno altri due compagni di corso, subirono la stessa sorte e risiedevamo tutti, nell'entroterra padano).

In quel periodo, il mio impegno era prevalentemente rivolto, ad affrancarmi dal lavoro manuale di riparatore auto, (mi piaceva lavorare sui motori, ma non lo sporcarmi le mani) ed al mantenimento della famiglia che nel frattempo si era formata; avevo sposato la giovane donna, che pazientemente mi ha atteso durante il periodo di ferma (me lo ha detto lei ed io ho sempre fatto finta di crederle); sposandomi non sapeva, quanto avrebbe dovuto ancora pazientare vivendo al mio fianco.

La meccanica celeste (insegnata nel corso di fisica) governata dalla legge di gravitazione Newtoniana, mi affascinava con gli esercizi proposti, i quali coinvolgevano nei loro calcoli, parametri fisici legati al moto diurno ed annuale della Terra, i quali non ero abituato a considerare, nel senso che le mie percezioni di velocità rotazionali, erano legate a quelle dei motori automobilistici e marini.

Il fatto che si effettuassero calcoli sulla forza centrifuga, prendendo in considerazione un regime di rotazione $n=1$ giro/giorno = 1 giro/24 ore = 1 giro/1440 minuti mi stupiva; mi intrigava poi la acquisita consapevolezza, che queste forze agiscono nel nostro quotidiano, ma siamo così abituati a pensare ad altro che non ce ne accorgiamo.

Della teoria di Einstein mi colpiva: l'aumento della massa dei corpi in funzione della loro velocità e la dilatazione dei tempi, la quale espressa in funzione del parametro $(1-v^2/c^2)^{1/2}$ per $(v > c)$ ammette come soluzione immaginaria, l'inversione della freccia del tempo, aprendo la strada per i viaggi verso il passato, che tanto hanno ispirato gli autori del filone fantascientifico.

Qui mi sto riferendo alla Teoria della Relatività Speciale del 1905, a quei tempi non ero ancora a conoscenza della Teoria della Relatività Generale del 1916.

Il ventennio che va dal 1974-75 al 1994-95 lo ho impiegato nel farmi una posizione come progettista meccanico, nel settore delle macchine utensili e senza porre troppa enfasi sul termine <<posizione>>, al momento nel quale sto scrivendo, posso affermare di esserci

riuscito; nel senso che ho dei clienti, che si dichiarano soddisfatti del mio lavoro di progettazione e qualche volta mi raccomandano agli amici, avvertendoli che le mie prestazioni sono un po' care (questo potrebbero risparmiarselo, tanto se ne accorgerebbero da soli).

Ah! dimenticavo, se oltre ad essere curiosi di argomenti scientifici, siete titolari di una azienda metalmeccanica e avete un problema di natura progettuale che vi assilla, non abbiate paura di spendere e contattatemi al seguente indirizzo: amoto@tin.it ; se questo libro non sarà nel frattempo divenuto un best seller o un tesoro della narrativa mondiale (si può sapere, quanto ci avete messo a decidervi?), troverò il tempo di rispondervi nell'interesse reciproco (non potevo dire spudoratamente solo nel mio).

Nel 1995 avviene l'incontro con l'affascinante mondo dell'Astronomia, sotto le sembianze di fascicoli settimanali e videocassette dell' Enciclopedia dell'Astronomia (non so se sia corretto citare l'editore e nel dubbio mi astengo, tanto lui non ha bisogno di pubblicità e quale pubblicità poi, visto che mi hai letto solo tu sin qui).

L'approfondimento dei temi astronomici e cosmologici, ha lasciato in me la sensazione che le fondamenta su cui poggia l'impianto teorico relativo, non hanno la solidità che gli avevo sempre attribuito, in particolare la scala delle distanze astronomiche e la teoria del Big Bang sulla nascita dell'Universo, i quali sono intimamente legati, all'interpretazione delle cause del Red-Shift (dilatazione della lunghezza d'onda della luce proveniente dalle galassie).

Il proseguo dell'avventura, sarà raccontato in diretta nei capitoli che seguono e non ti azzardare a curiosare nelle appendici, perché tanto non ci capiresti niente (non ti offendere, alle volte non ci capisco neanche io che le ho scritte), sono state inserite a beneficio di quelli che se ne intendono e per permettere una verifica sommaria del mio stato di salute mentale (nel senso che le conclusioni riportate nel testo, siano supportate da un ragionamento scientifico, documentato e verificabile e non il frutto di mero vagheggiamento), in fondo tra l'indossare il cappello di Napoleone o quello di Einstein non corre molta differenza per l'immaginario collettivo.

Prima parte - Cenni storici

La storia del pensiero scientifico e delle teorie che ne hanno accompagnato e sostenuto l'evoluzione nel corso dei secoli, ci porta ad osservare, come dalle felici intuizioni di pochi uomini geniali, separate a partire da Galilei, all'incirca un secolo l'una dall'altra (circa quattro generazioni), uno stuolo di filosofi naturali, poi scienziati, lavorando su queste intuizioni; con l'aiuto della matematica (evolutesi di pari passo) e di una sperimentazione sempre più sofisticata, ha contribuito nelle varie epoche corrispondenti alla creazione di modelli e spiegazioni, per i fenomeni naturali che osserviamo quotidianamente.

In ogni epoca, fino all'inizio del 1900, l'immagine della realtà fisica che gli uomini potevano costruirsi, aveva una corrispondenza intuitiva con modelli visualizzabili relativamente semplici.

Le cose hanno preso una piega diversa, quando Albert Einstein nel 1905, con la pubblicazione dei suoi articoli: sulla relatività e sull'effetto fotoelettrico, ha acceso la miccia che ha portato, alla metaforica esplosione della fisica quantistica; col conseguente scardinamento, di un modello deterministico, che aveva avuto le sue migliori fortune con Laplace (1).

Concetti radicati, come l'immutabile e regolare scorrere del tempo e la contemporaneità dei fenomeni, divenivano non più oggettivi, ma bensì soggettivi, con lo sfasamento temporale, dovuto alla diversa realtà, vissuta da osservatori in moto relativo.

Il ventesimo secolo, grazie alla potenza dei mezzi, messi a disposizione dal progresso tecnico ed all'ingegno e fantasia di uomini come: Bohr, Einseberg, De Broglie, Schroedinger, Pauli, Dirac, Fermi, ha visto nascere e consolidarsi la meccanica quantistica, la quale ha aperto uno squarcio nella coltre nebulosa, che avvolgeva il microscopico mondo del nucleo atomico.

Di pari passo le nuove conoscenze, hanno permesso l'elaborazione di modelli teorici per spiegare cosa avviene all'interno del nostro Sole e degli altri astri luminosi, spiegando come conciliare le osservazioni, col loro processo evolutivo.

La ricerca di un quadro concettuale, che possa unificare la descrizione delle forze fondamentali di natura, inclusa l'interazione gravitazionale, ha portato alla definizione dell'attuale Modello cosmologico: l'insieme delle teorie, che a partire dall'ipotesi del Big Bang, descrive l'evoluzione dell'universo dai primi vagiti fino ai giorni nostri, sollevando vari interrogativi sul suo futuro.

Einstein, nelle sue partecipazioni ai congressi Solvay, opponeva una accanita resistenza alle idee di Bohr, con la sua famosa affermazione <<Dio non gioca a dadi con il mondo>>, contestando la natura probabilistica che veniva assegnata alle previsioni della meccanica quantistica ed avvertiva sui rischi associati all'applicazione radicale dei risultati della relatività, ai casi dove le formule portano a forme matematiche indeterminate e dove la gravità è talmente forte da creare delle singolarità (punti dello spazio a densità infinita).

(1) Laplace credeva, che partendo dalla conoscenza sullo stato fisico dell'universo ad un dato istante, con l'uso della matematica e delle leggi fisiche, se ne potesse determinare in modo univoco il futuro; questa visione fu modificata radicalmente quando Einseberg enunciando il suo principio di indeterminazione, dimostrò l'impossibilità di conoscere in modo univoco lo stato fisico dei sistemi microscopici, oggetto di studio della fisica quantistica.

Von Neumann (l'inventore del primo computer), che tanto si serviva della matematica per dominare la realtà, era dell'avviso che l'utilizzo della matematica, con perdita di aderenza a modelli reali verificabili, poteva portare a visioni distorte della realtà.

Il sogno fondazionale di Hilbert sull'impianto assiomatico della matematica, crollava sotto i colpi dei risultati di Gödel.

I filosofi greci ricavavano le loro leggi naturali, più con l'utilizzo della logica che con una attenta sperimentazione sul campo, mentre il successo del metodo scientifico, iniziato da Galileo e centrato sull'osservazione empirica dei fenomeni, ha dimostrato la sua superiorità nel descrivere la realtà.

Ai giorni nostri, si assiste all'affermazione di un modello culturale scientifico, che ha molti punti in comune col metodo aristotelico dei filosofi greci; non mi riferisco naturalmente a quei ricercatori che nei loro laboratori, fanno del loro meglio per aggiungere nuovi tasselli, al mosaico della conoscenza empirica; ma bensì ai fisici teorici i quali, armati di conoscenze scolastiche e di tecnica matematica, lavorano alle teorie che costituiscono il corpo dell'attuale Modello cosmologico.

A Stephen Hawking vada tutta la mia simpatia per la sua opera divulgativa e per il lavoro compiuto, assieme a Roger Penrose, nel definire l'impianto teorico relativo ai buchi neri (Black Holes), a suon di relatività e meccanica quantistica, aiutandoci a comprendere (secondo me ci capisce solo lui), come mai non sono poi così neri, possono evaporare e si possono rilevare, osservando le fonti cosmiche di raggi X, le quali potrebbero rappresentare, l'ultimo grido emesso dalla materia che vi viene inghiottita a spese dei circostanti oggetti cosmici.

Le righe precedenti, che possono sembrare irriverenti, nei confronti di chi, con enorme impegno intellettuale, ha cercato e continua a cercare risposte, per arricchire il patrimonio cognitivo dell'umanità, è la mia reazione alla lettura sui testi divulgativi delle risposte, che il paradigma corrente suggerisce, per i seguenti quesiti; sui quali l'umanità si sta interrogando da secoli:

- 1) Da dove veniamo?*
- 2) Come è nato l'universo?*
- 3) Quali sono i mattoni ultimi che costituiscono la materia?*

Ecco le risposte:

Il primo quesito, lasciamolo ai teologi ed ai preti delle varie confessioni, noi al più possiamo dire, che qualche cometa ha inseminato la terra e l'evoluzione Darwiniana ha fatto il resto.

La risposta al secondo quesito è la teoria del Big Bang: sui quindici miliardi di anni fa, tutto l'universo era contenuto in una singolarità e non si capisce bene perché non ci sia restato, (forse vi faceva troppo caldo); sta il fatto comunque, che il tutto è esploso e nei primi istanti abbiamo avuto una grande inflazione (niente in confronto all'inflazione economica a due cifre degli anni '90), è nato il tempo e le varie forze, compresa quella gravitazionale erano unificate.

Ci siamo poi aiutati un po' con gli acceleratori di particelle del CERN e con quelli transoceanici ed a forza di Simmetrie più o meno Super, legando con qualche stringa, colorando qualche Quark, riponendone alcuni sugli scaffali alti (Up), qualche altro in basso (Down), guardando con sospetto gli (Strange) ed agitando il tutto in modo circolare (Spin)

abbiamo accontentato i muratori che nel porre il terzo quesito, volevano sapere dove erano andati a finire i loro mattoni per le fondazioni.

Ciò che rimane ai giorni nostri del Big Bang è il freddo riverbero della radiazione cosmica isotropa a circa 3° Kelvin (-270,15 °C) ed un mucchio di gente che si interroga sulla curvatura dello spazio – tempo, per sapere se l'espansione cosmica ipotizzata (accidenti al Red-Shift (1)): a) continuerà aumentando di intensità; b) continuerà in modo lineare; c) si arresterà ed avremo una contrazione che ci riporterà stretti stretti, assistendo ad un Big Crunch e forse riusciremo a percepire le 8=(11-3) dimensioni, le quali purtroppo sono arrotolate così bene che non riusciamo a vederle (ho scritto 8 e non 7=(11-4) perché a me lo spazio quadridimensionale (spazio – tempo) piace di più come lo aveva descritto Euclide in tre dimensioni spaziali, aggiungendovene poi un'altra temporale indipendente.

L'ironia di cui sono permeate le righe precedenti, ha lo scopo di alleggerire la lettura, prendila quindi come satira scientifica, lungi da me, intenzioni offensive nei confronti dei sostenitori del paradigma corrente.

Molto probabilmente questo paradigma, alla luce delle conoscenze acquisite a tuttora è quanto di più aderente alla realtà si possa concepire, tuttavia la difficoltà nel creare un quadro unitario delle forze, che comprenda anche l'effetto gravitazionale; l'osservazione di Red-Shift anomali, in oggetti che sembrano posti alla stessa distanza cosmologica (Quintetto di Stephan); l'elusività della materia oscura; la presenza di un effetto sul moto dei satelliti e delle sonde spaziali, che fa presagire l'esistenza di una costante di repulsione cosmologica (come ipotizzò e poi ritrattò Einstein), dovrebbero farne ripensare i fondamenti, tra i quali la Teoria della relatività, cercando tra le maglie dei suoi postulati, la eventuale presenza di un anello debole, il quale se opportunamente rinforzato, potrebbe mettere in completo accordo la teoria con le osservazioni, evitando la necessità di spazzare sotto il tappeto le incommode briciole di queste incongruenze.

Non è escluso che da questa operazione, possa scaturire un modello visuale, più alla portata della comprensione e dell'intuito delle persone comuni (come te e me), le quali non sono certo agevolate nel comprendere, cosa sia una Super stringa e come si possa concepire uno spazio ad undici dimensioni, quando la maggior parte di noi, ha già le sue belle difficoltà in tre dimensioni, (provate a disegnare con un CAD tridimensionale).

A questo punto della storia, nella ricerca di un'idea, che mi venisse in aiuto, nella digestione della Teoria della relatività, altrimenti indigesta; si è accesa la famosa lampadina che mi ha permesso la visione, di cosa non vada a mio parere nella teoria.

Detta così può sembrare un'affermazione molto impegnativa ed anche presuntuosa da parte mia; vedrai in seguito che non è così (ho usato il singolare, perché tanto mi stai leggendo solo tu).

(1) Red-Shift, in italiano (Spostamento verso il Rosso). Si tratta del parametro $[Z=(\lambda_1-\lambda_0)/\lambda_0]$ rilevato con misure spettroscopiche, che esprime l'allungamento della lunghezza d'onda $(\lambda_1-\lambda_0)$, riscontrato sulla luce che riceviamo dalle lontane galassie, in rapporto alla lunghezza (λ_0) dell'analoga radiazione prodotta e misurata nei laboratori terrestri. Da questo parametro, si può risalire ad una ipotetica velocità di recessione (v), la quale inserita nella formula $(v = H_0 \cdot d)$, espressione della legge di Hubble, ci restituisce la distanza cosmologica (d), che da loro ci separa.

(H_0) è la costante di Hubble, il cui valore nel tempo si è dimostrato tutto fuorché costante, passando dagli iniziali 540 km/s.Mpc agli attuali 70-80 km/s.Mpc, (Mpc) sta per Megaparsec unità di misura utilizzata, assieme all'anno luce (a.l.), per misurare le distanze cosmologiche (1Mpc=3.26x10⁶ a.l.).

La scarsa digeribilità della Teoria, non credo mi derivi dalle sue difficoltà concettuali, ma dalla difficoltà ad accettare i postulati della Relatività Speciale del 1905, nella fattispecie il “Principio di relatività”.

Mi risulta comunque, che se fossi vissuto all’inizio del ventesimo secolo e non nella sua seconda metà (sono nato nel 1951), sarei stato in buona compagnia di grandi ingegneri, anche loro affetti dalla stessa patologia all’apparato digerente, non tutti avevano lo stomaco di Arthur Stanley Eddington (1).

Ho letto che Il fisico Paul Ehrenfest scriveva ad Einstein: “Ora non si può più dire che gli oggetti si muovono rispetto al nulla, perché si muovono rispetto a un gigantesco qualcosa! Einstein, il mio stomaco disturbato odia la tua teoria – quasi odia anche te! Come posso badare ai miei studenti? Cosa posso rispondere ai filosofi?!!”

Paul Ehrenfest morì suicida nel 1933 e nel suo ricordo Einstein scrisse: “Coloro che lo conobbero sanno bene che sostanzialmente quest’uomo senza macchia cadde vittima di un conflitto di coscienza che in una forma o nell’altra non è risparmiata a nessun insegnante universitario che abbia passato, diciamo la cinquantina.

Negli ultimi anni questa situazione fu aggravata dallo sviluppo stranamente turbolento della fisica teorica. Imparare e insegnare cose che non si possono pienamente accettare nel proprio intimo è sempre un compito difficile, doppiamente difficile per una mente fanaticamente onesta, per una mente per la quale la chiarezza significa tutto. Non so quanti lettori saranno in grado di comprendere pienamente questa tragedia. Eppure fu questa la causa principale della sua dipartita”.

Senza arrivare all’eccesso di Ehrenfest, il buon senso dovrebbe essere una guida da non trascurare nell’affrontare questioni di fisica, sembra invece che i fisici del ventesimo secolo, abbiano fatto a gara nel dichiarare il buon senso come un obsoleto fardello di cui liberarsi, se si vuole comprendere l’essenza della natura.

La storia della scienza, ci insegna invece che proprio il buon senso e la capacità di osservare in modo intelligente i fenomeni naturali, ha permesso il perpetuarsi del progresso scientifico e l’avanzata verso i confini della conoscenza.

Quando una teoria presenta situazioni, la cui soluzione richiede di forzare il giudizio del buon senso, bisogna interrogarsi sulla sua bontà o completezza, non ci si può accontentare dei suoi molti successi predittivi.

La ricerca di una alternativa che risolva queste situazioni si impone, non sarà facile, ci potrà volere un secolo, ma alla fine solitamente qualcuno ci riesce.

Più sopra ho parlato dell’accensione di una lampadina, la quale ha illuminato il cammino che ha portato a definire la mia alternativa.

Devo dire che l’emozione provata, mentre mi crogiolavo nell’idea di essere approdato ad una soluzione originale è indescrivibile; lo stato di grazia però è stato messo a dura prova dalle difficoltà incontrate, nel comunicare la soluzione (ben nove riviste a carattere scientifico hanno rifiutato la pubblicazione del mio articolo).

(1) Arthur Stanley Eddington (1882-1944) fu per anni direttore dell’osservatorio di Greenwich e partecipò a uno degli esperimenti decisivi della teoria di Einstein; la valutazione della deviazione subita dalla luce in un campo gravitazionale, effettuata in occasione dell’eclisse solare del 1919.

Si narra che quando un giornalista gli chiese se era vero, che solo tre persone al mondo erano in grado di comprendere la teoria della relatività, questi si meravigliò, interrogandosi su chi potesse mai essere la terza (pensava di averla compresa solo lui e l’autore della stessa).

L'illusione di essere diventato un genio della fisica, si è dissolta quando leggendo la recensione(1) del testo "Lezioni di relatività" – da Einstein all'etere di Lorentz del prof.

Franco Selleri edito dalla Progedit (con una citazione così completa spero F.Selleri mi perdoni la serie di plaghi che mi accingo a fare), ho subodorato di non essere solo nelle mie convinzioni.

L'acquisto e l'attenta lettura di questo testo, ha suscitato in me meraviglia e ammirazione per il modo nel quale, Franco Selleri docente di fisica teorica all'Università di Bari, ricava trasformazioni di coordinate, le più generali possibili tra due Sistemi di Riferimento Inerziali(2) e restringe il campo alle "Trasformazioni equivalenti" (le quali spiegano il risultato degli esperimenti relativistici, in modo equivalente alle "Trasformazioni di Lorentz", formulate da Einstein nella Relatività Ristretta o Speciale del 1905).

Nel gruppo delle "Trasformazioni equivalenti", il prof. Selleri sceglie un caso particolare di queste, le "Trasformazioni inerziali" e le erige al rango, delle sole adatte ad inquadrare correttamente i fenomeni fisici, usando le parole:

"Ora però ci vogliamo occupare delle trasformazioni inerziali, che dal punto di vista matematico sono il caso particolare $e_1 = 0$ di quelle equivalenti, ma da quello fisico sono le sole che possono inquadrare correttamente i fenomeni naturali".

Tengo a dirti che nel mio "Gravitazione Etere Relatività", avevo ricavato delle trasformazioni di coordinate, che nella sostanza erano identiche alle "Trasformazioni inerziali" presentate dal prof. Selleri; si differenziavano solamente per le notazioni utilizzate e per il diverso modo di raccogliere i termini.

Immagina la mia delusione, quando dalla ricostruzione storica delle trasformazioni alternative a quelle di Lorentz, ho appreso che le mie arrivano sulla scena con circa quaranta anni di ritardo; già nel 1961 un certo Tangherlini le ricavò e poi le scartò, perché non lo soddisfacevano (ripensando alla fatica che mi era costato il ricavarle ed alla soddisfazione che mi avevano procurato, rimasi allibito).

I risultati che avevo ottenuto erano conseguenza della assunzione di validità di un modello fisico geometrico, che presuppone l'esistenza di un sistema di riferimento privilegiato.

Per come avevo descritto le sue proprietà mi accorsi in seguito, che avrei dovuto ricavare delle trasformazioni di coordinate leggermente diverse.

Credendo di aver commesso un errore, scrissi al prof. Selleri sottoponendogli le nuove trasformazioni; lui cordialmente mi avvertì dell'errore nel quale stavo cadendo; questo mi ha permesso di affinare il modello, rendendolo più aderente alla realtà empirica.

Tutto quello che segue, non richiede il comprendere quale sia il comportamento e la costituzione del modello proposto, l'unica cosa richiesta è il concordare con la necessità di un mezzo per la trasmissione delle onde elettromagnetiche, e se questo mezzo esiste, assegnare ai vari sistemi di riferimento inerziali, uno stato di moto nei suoi confronti; questo eleva al rango di sistema privilegiato ogni sistema inerziale che vi trovi

(1) Recensione apparsa sulla rivista "Coelum" ad opera del Sig. Alberto Bolognesi

(2) Sistema di Riferimento Inerziale : si tratta di un sistema di riferimento associato, alla disposizione spaziale di oggetti materiali in moto a velocità costante e quindi non soggetti ad accelerazione. Sono sistemi di riferimento teorici, in quanto i sistemi pratici sono solitamente soggetti alle accelerazioni di natura gravitazionale e non possono quindi dirsi inerziali. La trattazione dei sistemi di riferimento accelerati è compito della Teoria della Relatività Generale presentata da Albert Einstein nel 1916.

in quiete, vedremo in seguito il perché.

A proposito della necessità del mezzo per la propagazione delle onde elettromagnetiche, può essere illuminante la lettura di "Einstein e l'Etere" scritto da Ludwik Kostro ed edito dalla casa editrice Dedalo, Bari (2001), dove l'autore compie una rivisitazione storica degli scritti di Einstein, nei quali il grande fisico tedesco si occupa dell'argomento "Etere" e contrariamente a quanto si legge sui libri di fisica (sul fatto che Einstein abbia eliminato con la sua teoria del 1905 la necessità dell'Etere), ne emerge un quadro diverso.

Da L.Kostro apprendiamo che Einstein negò l'esistenza dell'etere soltanto dal 1905 al 1916 e successivamente mutò posizione scrivendo:

"[...] nel 1905 ero del parere che in generale non si potesse più parlare di etere in fisica. Questa opinione era però troppo radicale, come vedremo con le seguenti considerazioni sulla teoria di relatività generale. Resta permesso proprio come prima di accettare un mezzo che riempia lo spazio, nei cui stati si possano riconoscere i campi elettromagnetici (e quindi anche la stessa materia)."

poi in una lettera ad H.A. Lorentz del 15-11-1919 scrisse:

"Sarebbe stato più corretto se nelle mie prime pubblicazioni mi fossi limitato a sottolineare l'irrealtà della velocità dell'etere, invece di sostenere la sua totale non esistenza. Ora comprendo che colla parola etere non si intende niente altro che la necessità di rappresentare lo spazio come portatore di proprietà fisiche."

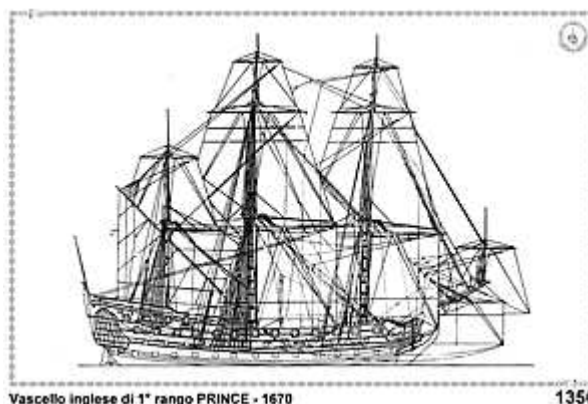
Va detto che nel tempo il significato di "Etere" ha subito varie connotazioni e la concezione eterea di Einstein non è la stessa che aveva Lorentz; come poi riuscisse Einstein ad immaginare un mezzo che riempie lo spazio, sottolineando l'irrealtà della sua velocità, rimane per me un grande ed inaccettabile mistero e mi aspetto non ci riesca neanche tu, se poi ci riesci non ti preoccupare che sei in buona compagnia.

Seconda parte - Il principio di relatività

Dopo aver parlato del “Principio di relatività”, nel titolo e nelle pagine seguenti, è ora che provi a spiegarti di cosa stiamo parlando.

Riprendo dal “Lezioni di Relatività” di F.Selleri cosa diceva in proposito il grande Galileo:

“Rinserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun grande naviglio, e qui fate d’aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti; siavi anco un gran vaso d’acqua, e dentrovi de’ pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell’acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto abbasso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti li versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all’amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le distanze siano eguali; e saltando voi, come si dice, a pie’ giunti, eguali spazi passerete verso tutte le parti. Osservate che avete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vascello sta fermo non debbano succedere così, fate muovere la nave con quanta si voglia velocità; che (purchè il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, ne da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina oppure sta ferma”.



Praticamente Galilei ci dice che nessun fenomeno può aiutarci nel decidere se la nave è ferma o si sta muovendo di moto rettilineo uniforme, affermando in questo modo che i sistemi di riferimento inerziali sono tra loro equivalenti, nel descrivere le leggi della fisica e questo è in sostanza il “Principio di relatività”.

Naturalmente Galileo portava ad esempio gli effetti fisici legati al “Principio d’inerzia” << Ciascun corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, eccetto che sia costretto a mutare quello stato da forze impresse >>, ai suoi tempi le conoscenze sui campi elettromagnetici erano ancora da costruire e la formulazione stessa del “Principio d’inerzia” appena riportata è attribuita a Newton suo postero che la enunciò nei suoi “Principia”.

La fisica classica presenta una visione dell'Universo le cui proprietà non cambiano al variare del sistema di riferimento inerziale dal quale si osservano i fenomeni fisici.

L'invarianza dei fenomeni così descritta, viene detta "Relatività galileiana" ed un principio che sembrava solido, cominciò a vacillare quando James Clerk Maxwell con la sua potente sintesi sulle leggi dell' Elettromagnetismo (le equazioni di Maxwell) incorniciò la luce nel quadro delle onde elettromagnetiche e ricavò il risultato:



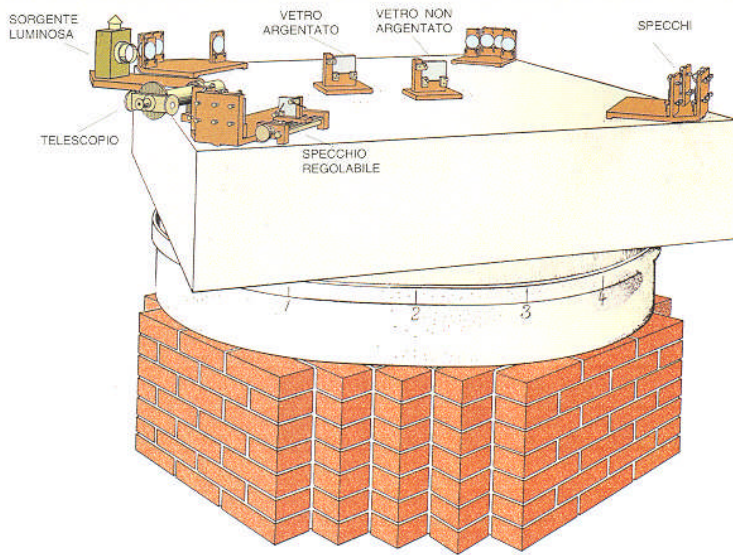
$$c = 1/(\epsilon_0 \cdot \mu_0)^{1/2}$$

che ne determina la velocità (c) in funzione di due costanti fondamentali di natura, legate al vuoto: la costante dielettrica (ϵ_0) e la permeabilità magnetica (μ_0).

Il principio che divenne vacillante è proprio il "Principio di relatività", infatti a cominciare dallo stesso Maxwell, si postulò l'esistenza di un sistema di riferimento privilegiato nel quale si potesse considerare a riposo, il mezzo per la propagazione delle onde elettromagnetiche, mezzo che fu denominato "Etere" e vò detto per inciso che sulla sua esistenza, al tempo non sussistevano dubbi, i dubbi erano al più sulla sua costituzione.

L'equilibrio instabile del "Principio di relatività" era naturalmente da imputare al fatto che almeno per l'elettromagnetismo, non tutti i sistemi di riferimento inerziali, potevano essere considerati equivalenti, dovendo essercene uno privilegiato, in quiete nell'Etere.

Sull' onda di queste ipotesi si idearono vari esperimenti per rivelare il moto del nostro pianeta nei suoi confronti: il più famoso compiuto da Michelson e Morley nel 1887 con metodo interferometrico, nonostante il suo livello di precisione non riuscì a rivelare il moto della Terra nei confronti dell'Etere.

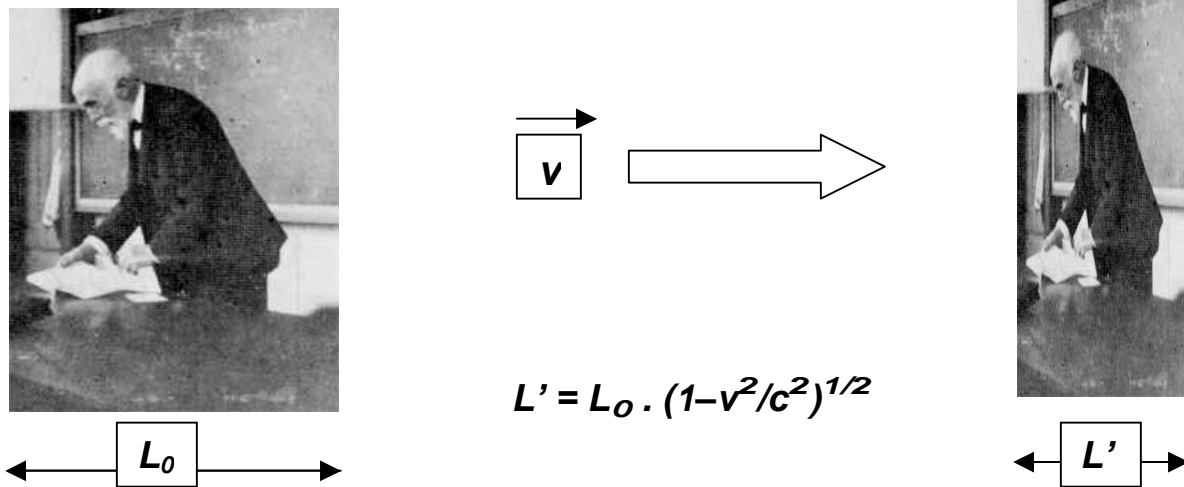


L'esperimento metteva a confronto due fasci di luce, ottenuti per divisione di un unico fascio, i quali si ricongiungevano dopo aver percorso un cammino di circa 11 metri, in direzioni tra di loro ortogonali.

Il risultato dell'esperimento non rivelò differenze tra i due percorsi, prestandosi alla conclusione che: o la terra era immobile nei confronti dell'etere, oppure l'etere non esisteva.

Per i sostenitori della presenza dell'etere rimanevano aperte due ipotesi: la terra nel suo moto trascina l'etere, oppure i corpi subiscono una contrazione lungo la direzione del moto.

Questa contrazione, chiamata di Lorentz e Fitzgerald, è data dalla seguente espressione:



dove (L') è la lunghezza contratta del corpo nella direzione del moto, (L_0) la lunghezza a riposo, (v) la velocità del moto nei confronti dell'etere e (c) la velocità della luce misurata nel vuoto.

In pratica, per maggior chiarezza, se consideriamo che i corpi in movimento subiscono lungo la direzione del moto la contrazione suddetta, il risultato dell'esperimento di Michelson e Morley risulta pienamente giustificato.

In questo clima di incertezza si inserisce il lavoro di Einstein del 1905 (Relatività ristretta) coi postulati:



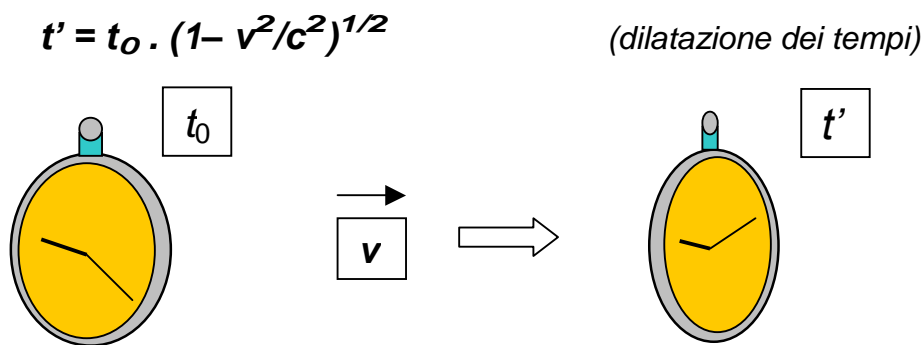
Postulato 1: Il moto assoluto uniforme non può essere rivelato

Postulato 2: la velocità della luce, misurata da un osservatore inerziale è indipendente dal moto della sorgente

L'esperimento di Michelson e Morley, viene considerato a suffragio del primo postulato: se non riusciamo ad evidenziare differenze nella velocità della luce, tra due sistemi di riferimento animati da un moto relativo, non possiamo sapere, quale dei due si muova più velocemente e quale più lentamente, rispetto ad un eventuale sistema di riferimento assoluto considerato in quiete.

Da questa considerazione, Einstein ha dedotto che i due sistemi di riferimento sono equivalenti, ridando stabilità al "Principio di relatività" di galileiana memoria, che i risultati di Maxwell avevano reso vacillante.

Come conseguenza della contrazione di Lorentz e Fitzgerald sulla lunghezza dei regoli in movimento e del risultato dell'esperimento di Michelson e Morley si ricava che la relazione tra gli intervalli di tempo, segnati dagli orologi di due osservatori inerziali, deve valere la relazione:



la quale ci dice che il tempo (t') registrato dall'orologio di un osservatore in moto alla velocità (v) risulta più corto del fattore $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, rispetto al tempo (t_0) segnato dall'orologio di un osservatore a riposo (le lancette degli orologi in movimento rallentano).

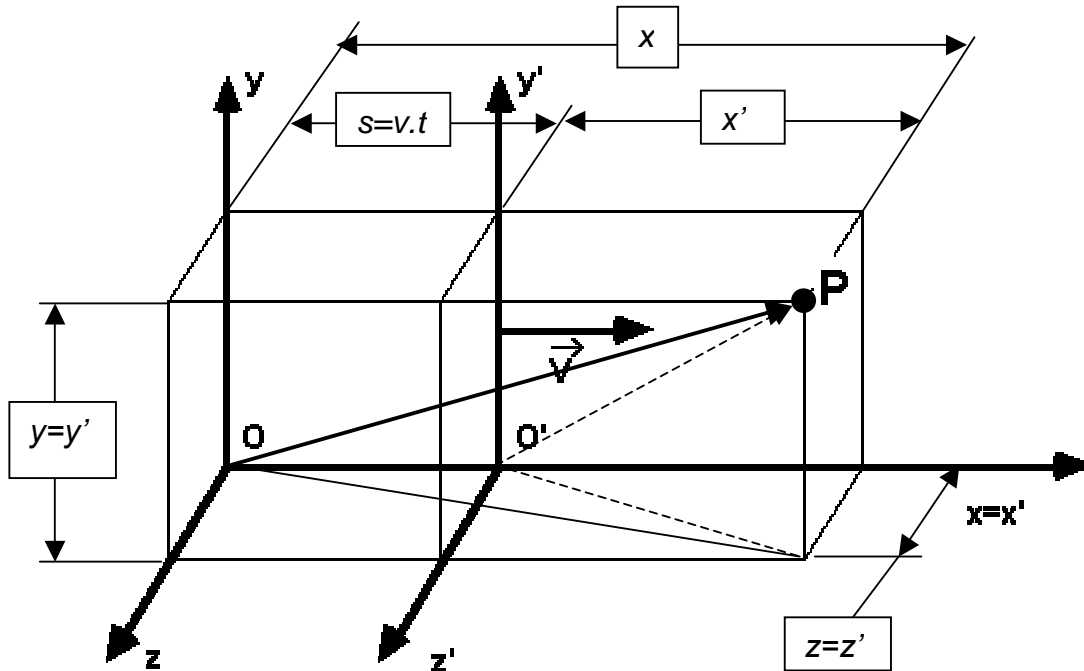
Se sei uno di quei lettori che non mollano facilmente la presa, ti consiglio l'acquisto e la lettura del "Lezioni di relatività" di F. Selleri citato in precedenza, dove ci trovi descritta ed analizzata in dettaglio la panoramica sperimentale, la quale porta a concludere che la contrazione sulla lunghezza dei regoli in movimento ed il rallentamento delle lancette degli orologi associati, sono ormai risultati robusti e consolidati, assieme alla verifica della costanza della velocità della luce (c) su percorsi di andata e ritorno, misurata nei vari sistemi di riferimento inerziali.

Se invece ti fidi di me (attento a fidarti di chi specula sul lavoro degli altri a scopo di lucro) considera che l'accorciamento dei regoli in movimento sia un effetto reale, provocato dal loro moto nei confronti dell'Etere, come pure il rallentamento degli orologi al polso di chi tiene in mano questi regoli.

Armato di questi due concetti, considerati degli effetti assoluti provocati dal moto nei confronti dell'Etere, sono riuscito a ricavare quelle che ritengo essere le corrette trasformazioni di coordinate tra due generici sistemi di riferimento inerziali.

Queste trasformazioni nel caso, dove uno dei due sistemi di riferimento risulta a riposo nell'Etere, coincidono in parte con le trasformazioni di Lorentz che ricavò Einstein utilizzando in modo congiunto i suoi due postulati.

Immaginando che tu possa non avere grande familiarità con i sistemi di riferimento e con la tipologia di coordinate che si possono definire su di essi, nella figura che segue provo a mostrarti un esempio di cosa si intende per sistema di coordinate cartesiane ortogonali.



Per la verità la figura qui sopra è il risultato della sovrapposizione di due sistemi di coordinate, denominati solitamente $(O\ x\ y\ z)$ e $(O'\ x'\ y'\ z')$ e si tratta di due sistemi di coordinate, adatti a localizzare nello spazio tridimensionale un punto (P) , indicando semplicemente tre numeri con la notazione $P(x,y,z)$; dove (x) (y) e (z) sono le lunghezze dei lati di un parallelepipedo la cui diagonale a partire dall'origine del sistema (O) esprime la distanza del punto (P) dall'origine $O(0,0,0)$.

Allo stesso modo, sempre per il punto (P) possiamo scrivere $P(x',y',z')$ dove (x') (y') e (z') sono analogamente le lunghezze dei lati del parallelepipedo, la cui diagonale congiunge il punto (P) con la nuova origine $O'(v.t,0,0)$.

Ho sovrapposto gli assi $(O\ x)$ e $(O'\ x')$, allineando parallelamente a due a due gli assi $(O\ y)-(O'\ y')$ e $(O\ z)-(O'\ z')$ per rendere più facile quello che ti dirò in seguito.

Nella figura c'è anche una freccia parallela agli assi allineati $(O\ x)$ e $(O'\ x')$ indicata da una (v) con una freccia sopra, questa sta ad indicare che il sistema di riferimento $(O'\ x'\ y'\ z')$ si muove di moto uniforme lungo la direzione comune degli assi $(O\ x)$ e $(O'\ x')$ appunto con la velocità relativa (v) nei confronti dell'origine (O) .

Io spero tu sia un lettore che non ha avuto problemi a seguirmi fin qui, perché adesso aggiungo anche la condizione che all'istante $(t=0)$ segnato da un orologio solidale con l'origine (O) anche un orologio solidale con l'origine in moto (O') segni il tempo $(t'=0)$ e che in quell'istante le due origini (O) e (O') coincidano (con la sovrapposizione momentanea anche degli assi $(O\ y)-(O'\ y')$ e $(O\ z)-(O'\ z')$).

Tutti i bei discorsi che ti ho fatto finora, servono ad introdurre il concetto di trasformazione di coordinate tra due sistemi di riferimento, e lo farò utilizzando il formalismo di quella che viene chiamata "Relatività galileiana".

Mi dispiace se a questo punto della lettura sei stanco e ne hai piene le scatole, ma per capire la Relatività un po' bisogna soffrire, se poi dopo aver sofferto non l'avrai capita lo stesso, non dirmi che non ti avevo avvertito.

Bene ora si parte.....!

Con riferimento alla figura precedente, dicasi trasformazione di coordinate del punto (P) tra il sistema (O x y z) ed il sistema (O' x' y' z'), l'insieme delle relazioni che, una volta conosciute le (x,y,z) del punto (P), la velocità (v) ed il tempo (t), permettono di calcolare il valore che devono avere le coordinate (x',y',z') dello stesso punto nel sistema (O' x' y' z') e viceversa.

Cominciamo con l'osservare che al tempo (t>0) l'origine (O') avrà percorso uno spazio (s = v.t), avendo noi supposto in precedenza che al tempo (t=0) le due origini (O) e (O') coincidevano.

Ricaviamo (x') facendo il semplice ragionamento che $x' = x - s$ cioè, siccome (s = v.t):

$$x' = x - v.t$$

mentre per (y') e (z'), per come abbiamo scelto l'orientamento degli assi, avremo:

$$y' = y \quad e \quad z' = z$$

e rifacendo il ragionamento nel caso siano (x',y',z'), (v) e (t') le coordinate conosciute, avremo:

$$x = x' + v.t' \quad y = y' \quad z = z'$$

in merito poi alla questione di cosa indichino le lancette degli orologi, sempre sotto l'ipotesi che al tempo (t=0) si abbia anche (t'=0), avremo:

$$t' = t \quad e \quad t = t' \quad \text{reciprocamente.}$$

Il risultato che abbiamo ottenuto sono le trasformazioni di coordinate della Relatività galileiana, dove i regoli non subiscono contrazioni; gli orologi hanno lo stesso ritmo di marcia in tutti i sistemi inerziali e non vi sono da porre condizioni sulla velocità dei due sistemi nei confronti dell'Etere (validità del "Principio di relatività").

A seguire, riporto senza dimostrazione le trasformazioni di Lorentz della Relatività speciale del 1905:

$$\begin{aligned} x' &= (x - v.t) / (1 - v^2/c^2)^{1/2} & x &= (x' + v.t') / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \\ y' &= y & y &= y' & z &= z' \\ z' &= z \\ t' &= (t - v.x/c^2) / (1 - v^2/c^2)^{1/2} & t &= (t' + v.x'/c^2) / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \end{aligned}$$

Per confronto con i risultati Galileiani notiamo che, per quanto concerne le coordinate (y) e (z) abbiamo perfetta equivalenza mentre per la coordinata (x) si aggiunge al denominatore il fattore della contrazione delle lunghezze di Lorentz e Fitzgerald $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$.

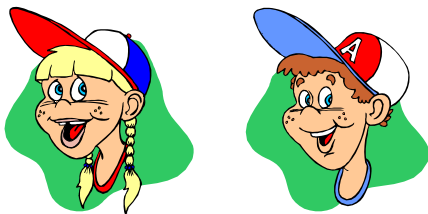
Nella trasformazione del tempo, oltre al fattore di dilatazione dei tempi, [che vale sempre $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$] troviamo il termine $(v \cdot x / c^2)$ che nasce dall'applicazione del "Principio di relatività".

Questo termine spaziale (nella coordinata x) che troviamo nella trasformazione del tempo è responsabile di una situazione derivante dall'applicazione della Teoria della relatività speciale, che richiede una revisione del concetto di buon senso: << la relatività della simultaneità >> che può cambiare l'ordine degli eventi a seconda dell'osservatore coinvolto nel giudizio.

Un'altra situazione che in passato veniva considerata lesiva del buon senso è quello che Langevin formulò come "Paradosso dei gemelli".

Spendo alcune parole per ricordarti in cosa consiste il paradosso dei gemelli:

<< Due gemelli ad un certo punto della loro vita si separano: uno di loro rimane sulla terra, mentre l'altro intraprende il viaggio a bordo di un'astronave, che lo porta a raggiungere una destinazione lontana.



L'astronave viaggia ad una velocità di crociera prossima a quella della luce (in modo che siano evidenti gli effetti previsti dalla relatività sul rallentamento degli orologi) ed una volta raggiunta la destinazione, riparte per il viaggio di ritorno, sempre mantenendo la stessa velocità di crociera del viaggio di andata.

Al ritorno sulla terra, l'incontro dei due gemelli, presenterà l'imbarazzante situazione, nella quale il gemello rimasto a terra, ormai vecchio e incanutito si troverà di fronte il fratello astronauta, ancora giovane e con l'aspetto molto simile a quello che presentava quando si salutarono alla partenza del viaggio.



?..!!



Il paradosso non consisterebbe in questo, ma nel fatto, che ragionando in ottica relativistica, per il fratello astronauta, è la terra con suo fratello che si sono allontanati da lui a velocità quasi luminare e poi hanno fatto ritorno; quindi dal suo punto di vista dovrebbe essere il fratello terrestre ad aver conservato l'aspetto giovanile>>.

Sulla soluzione di questo paradosso, in passato si sono spesi fiumi di parole sulla letteratura relativistica, per poi arrivare ai giorni nostri alla definizione di un "Effetto gemelli" (la cui verifica sperimentale ha avuto un riscontro positivo), che trova giustificazione nella descrizione dell'effetto sul diagramma spazio-temporale di Minkowski (cfr. "Le strutture dello spaziotempo Vol.1 dei prof. Bergia e Franco).

Con l'adozione delle trasformazioni di coordinate che presenterò nella Terza parte, la nostra descrizione dell' "effetto gemelli", viene a coincidere con la visione moderna che ne presenta il prof. Bergia.

Ti ricordo che queste cose sono spiegate con maggior dovizia di particolari, nel "Lezioni di relatività" del Prof. F.Selleri.

Crediti fotografici: le immagini degli scienziati e dell'interferometro di Michelson e Morley riportate in questa parte del testo, come pure l'immagine di A.Einstein di copertina, sono state acquisite in forma digitale dalla collana "I grandi della scienza" di "Le scienze".

Terza parte - Le trasformazioni inerziali

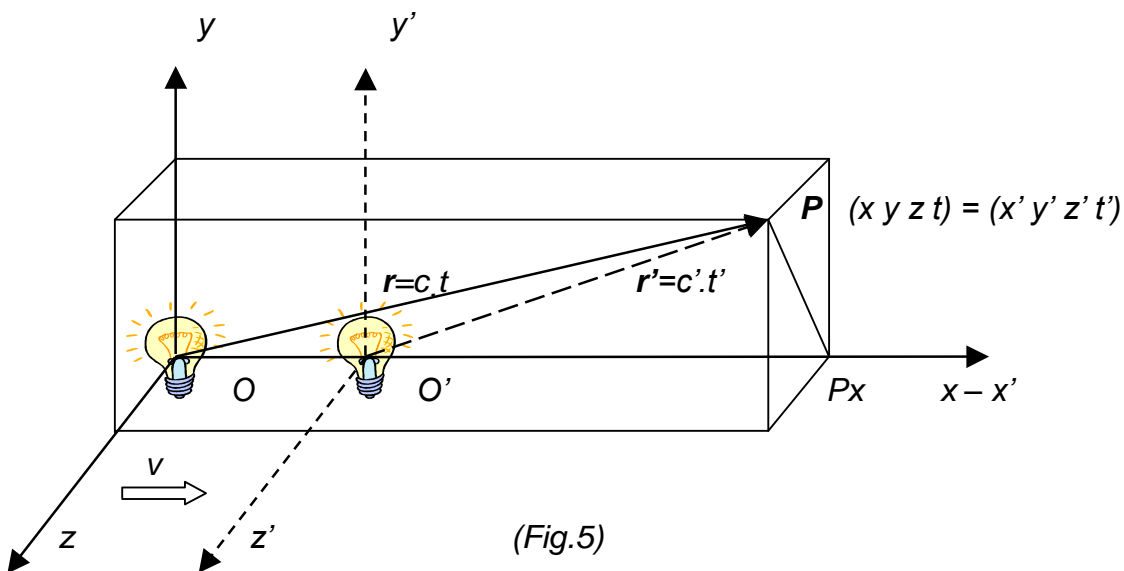
In questa parte del testo, prenderemo confidenza (si fa per dire, dare confidenza a gente con un carattere difficile non è sempre consigliabile) con quelle che chiamerò "Trasformazioni inerziali", in omaggio alla denominazione adottata per esse da F.Selleri nel suo testo, conservando però le notazioni e la forma che diedi loro, quando le ricavai a mia volta in modo indipendente.

Le "Trasformazioni inerziali", sono trasformazioni di coordinate tra sistemi di riferimento inerziali, le quali presuppongono l'esistenza di un sistema privilegiato, nel quale sono valide le equazioni di Maxwell dell'elettromagnetismo e tengono conto delle velocità che i sistemi di riferimento in esame hanno nei suoi confronti; non solo della loro velocità relativa, come invece fanno le "Trasformazioni di Lorentz", della Relatività speciale.

<< Avrai già cominciato a capire, che la fregatura più volte annunciata all'inizio del testo si sta manifestando in tutta la sua gravità, non riuscirò certamente a divertirti nel proseguo; mi auguro solo di averti innestato il seme della curiosità per questi temi molto impegnativi ed essere riuscito qua e là a strapparti un sorriso, quindi ci salutiamo qui e ti manifesto la più sentita gratitudine per l'attenzione che mi hai prestato.

Se vuoi continuare a leggere, liberissimo di farlo, io però ho fatto del mio meglio per dissuaderti (non è vero neanche questo, avrei dovuto smettere di scrivere) >>

Nel seguito riporto, quanto ho scritto in merito nel mio "Gravitazione Etere Relatività", dove ho ricavato le "Trasformazioni inerziali" e le ho messe a confronto con le analoghe "Trasformazioni di Lorentz" della Relatività speciale di Albert.



(Fig.5)

Con riferimento alla Fig.5, ipotizziamo due sistemi di riferimento (O, x, y, z, t) e (O', x', y', z', t') associati rispettivamente agli osservatori (O) e (O') , orientati in modo che all'istante $(t=t'=0)$ le origini e gli assi coincidano e siano sovrapposti.

L'origine del sistema (O', x', y', z', t') sia in moto alla velocità (v) sull'asse (O, x) ed all'istante $(t=t'=0)$ una lampada emetta un flash, nell'origine comune $(O=O')$ degli assi

coordinati ed interrogiamoci, ponendoci sempre nei panni di (O), considerato in quiete nei confronti dell'etere, su come vanno valutati tempi e coordinate per un punto (P), che nell'istante (t) per l'osservatore (O) e (t') per l'osservatore (O'), viene illuminato dalla luce emessa dalla lampada.

Analizziamo ora la situazione col regolo e col cronometro di (O): quando l'evento (flash) viene percepito nel punto (P) di coordinate (x y z) per (O) e (x' y' z') per l'osservatore (O'), egli arresta il suo cronometro, rilevando che è trascorso un tempo (t), che (O') ha percorso nel frattempo uno spazio (v . t) e misurando col suo regolo, conclude che la distanza (O'-Px) è:

$$O' - Px = x - v.t \quad (2.3)$$

supponendo poi che il regolo di (O') si sia contratto, per effetto della contrazione di Lorentz



egli deduce che la misura della stessa distanza (x'), effettuata da (O'), per poter essere confrontata con la sua misura, deve essere adeguata col fattore:

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

cioè:

$$O' - Px = x' . \gamma \quad (2.4)$$

dove abbiamo supposto che (Px) sia la proiezione di (P) sull'asse comune (O x ; O' x'), eguagliando poi le (2.3) e (2.4) avremo:

$$x' . \gamma = x - v.t$$

da cui ricavando (x'), otteniamo:

$$x' = (x - v.t) / \gamma \quad (2.5)$$

con (x') misurata col regolo di (O'), (x, t) col regolo e col cronometro di (O) e per questa trasformazione abbiamo piena identità col risultato relativistico.

Vediamo ora la situazione col regolo e con l'orologio di (O'): quando l'evento (flash) raggiunge il punto (P), l'osservatore (O') arresta il suo cronometro, rilevando che è trascorso un tempo (t'); sapendo che deve essere:

$$O - Px = x' . \gamma + v.t \quad (2.6)$$

per adeguare i due membri della (2.6) alle stesse unità di misura, costruiamo le posizioni:

$$O - Px = x \quad \text{e} \quad t = t' / \gamma \quad (2.7)$$

le quali sostituite nella (2.6) ci portano alla:

$$x = x' \cdot \gamma + v \cdot t' / \gamma \quad (2.8)$$

da cui:

$$x = (x' \cdot \gamma^2 + v \cdot t') / \gamma \quad (2.8 \text{ bis})$$

con (x) misurato col regolo di (O) , (x', t') col regolo e col cronometro di (O') ed osserviamo che la (2.8 bis), si differenzia dall'analoga trasformazione relativistica:

$$x = (x' + v \cdot t') / \gamma$$

per l'introduzione del fattore (γ^2) .

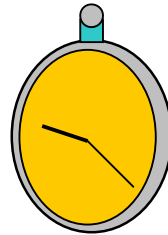
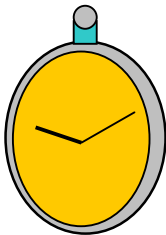
Ci siamo limitati all'esame delle coordinate (x) e (x') perché la scelta effettuata sull'orientamento degli assi $(O y ; O z)$ e $(O' y' ; O' z')$, permette di porre le identità $(y=y')$ e $(z=z')$.

Nella nostra visione, la trasformazione dei tempi nei due sistemi si ricava direttamente applicando la contrazione di Lorentz; il tempo (t') segnato dall'orologio rallentato di (O') sarà minore del tempo (t) segnato dall'orologio di (O) , cioè:

$$t' = t \cdot \gamma \quad (2.9)$$

e

$$t = t' / \gamma \quad (2.10)$$



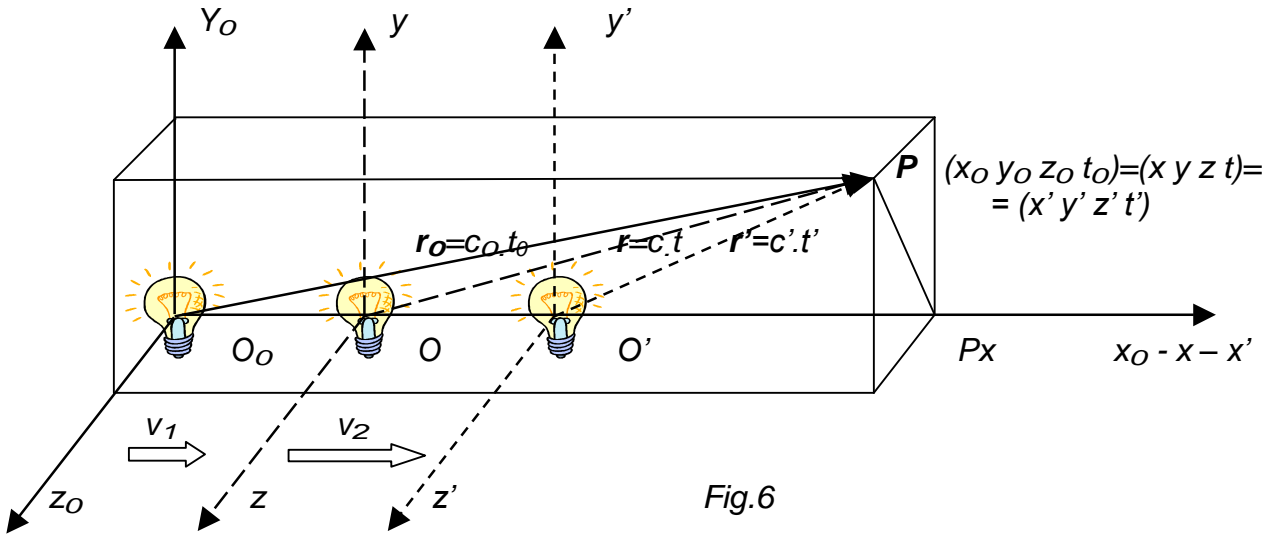
le analoghe espressioni relativistiche sono:

$$t' = (t - vx/c^2) / \gamma \quad \text{e} \quad t = (t' + vx'/c^2) / \gamma$$

La differenza più evidente è la scomparsa nelle nostre (2.9) e (2.10) dei termini spaziali (vx/c^2) e (vx'/c^2) , lasciando intravedere il concetto più familiare della separazione tra le coordinate spaziali $(x y z)$, $(x' y' z')$ e le coordinate temporali (t) e (t') .

Per chi, come me, ha fiducia nell'esistenza dell'etere, pur rendendomi conto che la natura fa di tutto per nascondere, la trasformazione delle coordinate vorrebbe ricavata, dal punto di vista di un osservatore più oggettivo di quanto non lo siano gli osservatori (O) e (O') , chiamerò questo osservatore (O_0) ed il suo sistema di coordinate $(O_0 x_0 y_0 z_0 t_0)$ dove col pedice $(_0)$ intendiamo considerarlo immobile, nei confronti dell'etere.

In questa ottica il nostro schema assume la forma della Fig.6



Applicando le relazioni (2.5) e (2.8) alla nuova situazione presentata, otteniamo le:

$$x = (x_0 - v_1 \cdot t_0) / \gamma_1 \quad (2.11)$$

$$x' = (x_0 - v_2 \cdot t_0) / \gamma_2 \quad (2.12)$$

$$x_0 = x \cdot \gamma_1 + v_1 \cdot t / \gamma_1 \quad (2.13)$$

$$x_0 = x' \cdot \gamma_2 + v_2 \cdot t' / \gamma_2 \quad (2.14)$$

dove abbiamo posto: $\gamma_1 = (1 - v_1^2/c^2)^{1/2}$ e $\gamma_2 = (1 - v_2^2/c^2)^{1/2}$

Risparmiandoti i dettagli matematici, che puoi trovare in Appendice 2, riepilogo le trasformazioni tra le coordinate dei sistemi inerziali, in due colonne; in quella di sinistra le nostre "Trasformazioni inerziali" ed a fianco sulla destra le corrispondenti "Trasformazioni di Lorentz" della Relatività speciale:

"Trasformazioni inerziali"
(Nuovo modello)

"Trasformazioni di Lorentz"
(Relatività speciale)

$$1) x' = (x \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1) \cdot t) / \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad ; y' = y \quad ; z' = z$$

$$2) x = (x' \cdot \gamma_2^2 + (v_2 - v_1) \cdot t') / \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad ; x = x' \quad ; z = z'$$

$$3) t' = t \cdot \gamma_2 / \gamma_1$$

$$4) t = t' \cdot \gamma_1 / \gamma_2$$

dove come sopra abbiamo posto: $\gamma_1 = (1 - v_1^2/c^2)^{1/2}$
e $\gamma_2 = (1 - v_2^2/c^2)^{1/2}$, con (v_1, v_2) le velocità relative all'etere dei due sistemi inerziali.

Queste per ($v_1=0$) e ($v_2=v$), da cui segue:
 ($\gamma_1=1$) e ($\gamma_2=\gamma$), si trasformano nelle:

(Nuovo modello)	(Relatività speciale)
1') $x' = (x - v.t) / \gamma$; $y' = y$; $z' = z$	$x' = (x - v.t) / \gamma$; $y' = y$; $z' = z$
2') $x = (x'.\gamma^2 + v.t')$ / γ ; $y = y'$; $z = z'$	$x = (x' + v.t') / \gamma$; $y = y'$; $z = z'$
3') $t' = t . \gamma$	$t' = (t - vx / c^2) / \gamma$
4') $t = t' / \gamma$	$t = (t' + vx' / c^2) / \gamma$

Le differenze che riscontriamo, tra le due versioni delle trasformazioni nasce dalla diversa interpretazione data all'esperimento di Michelson e Morley.

La relatività speciale assume che la costanza sulla misura della velocità della luce (c) rilevata dagli osservatori inerziali, sia un concetto, che porta alla perfetta equivalenza dei due sistemi, mentre dal mio punto di vista, questo li rende solo difficilmente distinguibili.

L'apparente equivalenza tra la trasformazione: nostra e relativistica espressa nelle 1') è relativa al caso particolare nel quale uno degli osservatori (O x y z t) si può considerare solidale con l'etere, nel caso più generale vale la 1), la quale chiama in causa il diverso stato di moto dei due osservatori nei confronti dello stesso.

Le evidenze sperimentali che io conosco, presentate a conferma della "Teoria della relatività speciale", se ben analizzate, sono più da intendersi come conferme della contrazione di Lorentz e della dilatazione dei tempi, che del "Principio di relatività".

Dal mio punto di vista, la questione è ancora aperta ed a mio parere quando Albert ha effettuato la scelta del "Principio di relatività", si è lasciato trascinare dall'eleganza assunta dalla simmetria matematica del problema.

Come anticipato in precedenza, l'applicazione delle "Trasformazioni inerziali" all'originario "paradosso dei gemelli", ne rimuove il paradosso infatti nella nuova visione la situazione non è più paradossale, essendo chiaramente da imputare al fratello astronauta la più giovane età: è lui che viaggiando a velocità quasi luminare nei confronti dell'etere, ha beneficiato, come fosse un elisir di lunga vita, del rallentamento del suo orologio biologico e l'analisi del problema in questa visione, non è invertibile o simmetrica, come sembrerebbe richiedere il "Principio di relatività" del primo postulato della teoria Einsteiniana.

Ricordiamo che la moderna visione relativistica, condivide queste nostre conclusioni.

La situazione a mio parere lesiva del buon senso, che viene risolta con le "Trasformazioni inerziali", è l'ambiguità sulla simultaneità, introdotta dalla Relatività speciale, la quale risiede nei termini spaziali (vx / c^2) e (vx' / c^2) che compaiono nelle Trasformazioni di Lorentz, termini assenti nelle nostre trasformazioni.

Nella nostra visione, il guardiano che vigila sulla corretta sequenza degli eventi, ed impedisce l'insorgere di paradossi causali, è l'osservatore (O_0) immobile nel riferimento assoluto dell'Etere: quando applicando le "Trasformazioni inerziali", calcoliamo i termini $\gamma_1=$

$(1 - v_1^2/c^2)^{1/2}$ e $\gamma_2 = (1 - v_2^2/c^2)^{1/2}$, con (v_1, v_2) le velocità relative all'etere dei due sistemi inerziali, ci sottoponiamo al suo insindacabile giudizio; con questo intendo dire, che la correzione della marcia degli orologi al polso dei vari osservatori, ottenuta con l'applicazione di questi termini e l'aiuto di una corretta sincronizzazione, ci permette sempre la definizione unanime della successione degli eventi.

Tra i grandi risultati della Teoria della relatività speciale, c'è l'equivalenza tra massa ed energia, sancita dalla famosa equazione: $E = m \cdot c^2$; questa equivalenza unita al principio di conservazione dell'energia, potrebbe erigere l'energia a grandezza fondamentale ed assoluta della fisica, se non fosse per il fatto che la massa (m) di un corpo, risulta variabile con la velocità dello stesso, secondo la relazione: $m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$, dove (m_0) sta ad indicare la massa a riposo del corpo e (v) la sua velocità.

Per la Relatività speciale la velocità (v) è la velocità relativa ad un sistema di riferimento inerziale qualsiasi, rispetto al quale viene calcolato il contenuto energetico del corpo e siccome per essa, tutti i sistemi di riferimento inerziali sono equivalenti, assistiamo alla curiosa situazione, che prevede un diverso contenuto energetico del corpo, a seconda del sistema di riferimento, rispetto al quale effettuiamo il calcolo.

Nella nuova visione, possiamo invece erigere l'energia a grandezza assoluta, semplicemente calcolando il contenuto energetico di un corpo, rispetto al sistema di riferimento dell'Etere e senza ambiguità; semmai la difficoltà insita in questo metodo, sarà quella di definire di volta in volta la velocità corretta (v) del corpo, da inserire nel calcolo, vista l'elusività del sistema di riferimento privilegiato, il quale ha resistito così tenacemente agli attacchi di Michelson e Morley.

Una indicazione sperimentale, per l'individuazione di questo sistema di riferimento è quella di munirsi di orologi molto precisi ed esplorare i vari sistemi di riferimento inerziali, individuando quello nel quale la marcia dell'orologio è più veloce, se ricordi abbiamo più volte ribadito nel testo, che la marcia degli orologi in movimento nei confronti dell'etere, risulta rallentata per il fattore: $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{1/2}$.

Un'altra previsione della Teoria della relatività speciale è la regola di composizione delle velocità, la quale prevede che la velocità relativa di due corpi non possa mai superare la velocità della luce (c), in quella teoria la regola citata, vigila sulla possibilità dell'insorgere di paradossi causali, ad esempio il nipote che uccide il nonno prima del concepimento di suo padre.

Nella nuova visione, per i corpi materiali rimane in vigore il limite di velocità (c), però solo nei confronti del sistema privilegiato dell'Etere; questo perché al tendere della velocità del corpo a (c) la sua massa tende a divenire infinita, impedendone l'ulteriore accelerazione.

Se però due corpi si muovono in direzioni parallele e senso opposto, il limite per la loro velocità relativa può diventare ($2 \cdot c$); questo nel caso uno di essi sia animato dalla velocità ($+ c$) nei confronti dell'Etere e l'altro della velocità ($- c$), nel seguito ricaverò la nuova regola di composizione delle velocità relative.

<< Carissimo unico ed eroico lettore, permettimi un encomio solenne, per la caparbia dimostrata nel leggermi sin qui, spero solo a questo punto, non ti sovvenga di curiosare nelle appendici, è terreno minato, dove quello che ci puoi trovare scritto, è il frutto di levatacce o di notti insonni, condizioni favorevoli allo sproloquio, peraltro espresso con il linguaggio della matematica; aveva un bel dire Albert che questo è il linguaggio, nel quale è scritto il libro della natura; per i miei gusti la natura si poteva esprimere utilizzando il dialetto delle colline modenesi, forse ci saremmo capiti meglio. >>

Bibliografia:

Franco Selleri
**Lezioni di relatività
da Einstein all'etere di Lorentz**
Progedit

Ludwik Kostro
Einstein e l'Etere
Dedalo, Bari (2001)

Arthur S. Eddington
**Spazio, tempo e gravitazione
La teoria della relatività generale**
Serie scientifica
Universale Bollati Boringhieri

Albert Einstein (a cura di Enrico Bellone)
Opere scelte
Bollati Boringhieri

Silvio Bergia – Alessandro Paolo Franco
Le strutture dello spaziotempo Vol. 1
CLUEB

Abraham Pais
Sottile è il Signore
Bollati Boringhieri

P.Mazzoldi, M.Nigro, C.Voci
Fisica
Vol.2 – 2a Edizione
EdiSES

Vittorio Banfi
Relatività e astrodinamica
Levrotto & Bella

Angelo Montorsi (*)
Gravitazione, Etere, Relatività
Inediti n. 151 Andromeda
[http: www.alinet.it/andromeda](http://www.alinet.it/andromeda)
tel. 051.490439 – Fax 051.491356

(*) L'abbondanza di riferimenti indicati è dovuta al fatto, che a differenza degli altri testi elencati, non puoi trovarlo in libreria.

Appendice 1 - La contrazione di Lorentz e Fitzgerald, dall'esperimento di Michelson e Morley.

Per dare una spiegazione al risultato nullo dell'esperimento di Michelson e Morley, salvando l'ipotesi dell'esistenza dell'etere, Lorentz e Fitzgerald ricavarono la contrazione delle lunghezze:

$$L = L_0 \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad (1)$$

e la dilatazione dei tempi:

$$t = t_0 \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad (2)$$

La quantità (L) espressa dalla (1) è la lunghezza che un corpo, avente lunghezza (L_0) nel sistema (S_0) solidale con l'etere, assume quando viene posto in moto alla velocità (v) del sistema di riferimento solidale con l'osservatore (S); mentre la quantità (t) espressa dalla (2) è il tempo che un orologio al polso dell'osservatore (S) registra per fenomeni, per i quali indicherebbe la durata (t_0), se si trovasse al polso di (S_0).

Quanto detto finora, richiede l'essere ampliato con le seguenti considerazioni, per una migliore focalizzazione:

- I corpi in moto con (S) sono lunghi (L) se li misuriamo col regolo campione dell'osservatore (S_0).
- Il tempo segnato dall'orologio in moto con l'osservatore (S), non può essere equivocado, nel senso che le sue lancette risultano rallentate e segnano un tempo (t) più corto, del tempo (t_0) che avrebbe segnato se fosse rimasto al polso dell'osservatore (S_0), a riposo nell'etere.

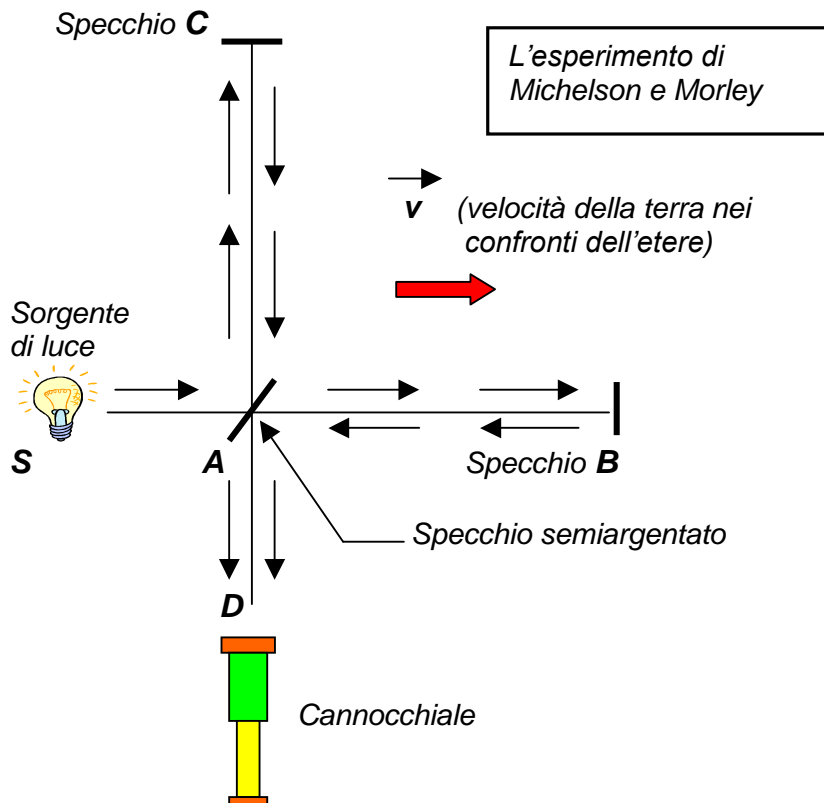
Abbiamo appena parlato della inequivocabilità del tempo, mentre per la lunghezza (L) si può pensare la misura venga effettuata, col regolo campione del sistema in moto (S); questo però non sarebbe corretto, poiché anche il regolo di (S) si è accorciato nella stessa proporzione e la misura del corpo eseguita da (S) darebbe sempre come risultato (L_0), cioè il regolo campione di (S) è sempre contenuto (L_0) volte nella lunghezza del corpo.

Per quanto riguarda il tempo (t) segnato dall'orologio in moto con (S), si può solo ribadire quanto già detto, si tratta del tempo registrato dalle sue lancette e la sua lettura può essere effettuata indifferentemente sia dall'osservatore in quiete (S_0), che dall'osservatore in moto (S), senza equivoci.

La stessa cosa non si può dire per la lunghezza dei corpi, ognuno degli osservatori, le misurerà col suo regolo campione e l'osservatore in moto (S) rimarrà un po' perplesso, nel vedere che il suo metro è più corto del metro esibito dall'osservatore in quiete nell'etere (S_0).

Seguiamo ora il percorso che porta a ricavare le (1) e (2) dal risultato dell'esperimento di Michelson e Morley.

Allo scopo esaminiamo la figura seguente, la quale schematizza l'impostazione concettuale dell'esperimento.



Da una sorgente di luce monocromatica (S) parte un fascio luminoso che si divide in (A) su di uno specchio semiargentato, il quale riflette parzialmente il fascio di luce verso lo specchio (C) e lascia trasparire verso lo specchio (B) la restante parte del fascio inviato dalla sorgente.

Gli specchi (B) e (C) riflettono i due fasci luminosi rinviandoli verso (A), dove il fascio proveniente dallo specchio (B) viene deviato verso (D), ricombinandosi col fascio proveniente dallo specchio (C).

In (D) un cannocchiale permette di osservare i fenomeni di interferenza provocati dalla ricombinazione dei due fasci luminosi provenienti dagli specchi (B) e (C).

La lunghezza dei due bracci (A-B) ed (A-C) era regolabile in modo micrometrico ed il tutto era sospeso su di una base galleggiante sul mercurio e rotante sui 360°.

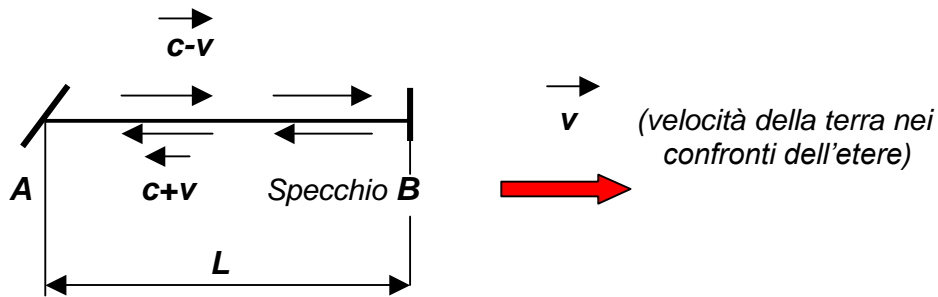
L'idea di Michelson era questa: rendiamo uguale la distanza dei bracci (A-B) e (A-C) osservando la figura di interferenza nel cannocchiale, poi ruotiamo l'apparato di 90° e vediamo in che modo cambia la figura di interferenza; perché come rappresentato in figura, la velocità dell'apparato nei confronti dell'etere, dovrebbe rendere non equivalenti i percorsi ottici dei due fasci luminosi, essendo gli stessi orientati: uno perpendicolarmente alla velocità dell'etere e l'altro parallelamente alla stessa; nel seguito esplicherò le motivazioni che dovrebbero rendere non equivalenti i due percorsi.

Ebbene con grande sorpresa, ruotando l'apparato non vennero rilevate differenze nella figura di interferenza osservata nel cannocchiale.

L'esperimento fu ripetuto sei mesi più tardi ed in epoche successive, per escludere che in quel momento la terra fosse immobile nell'etere, ottenendo sempre lo stesso esito negativo.

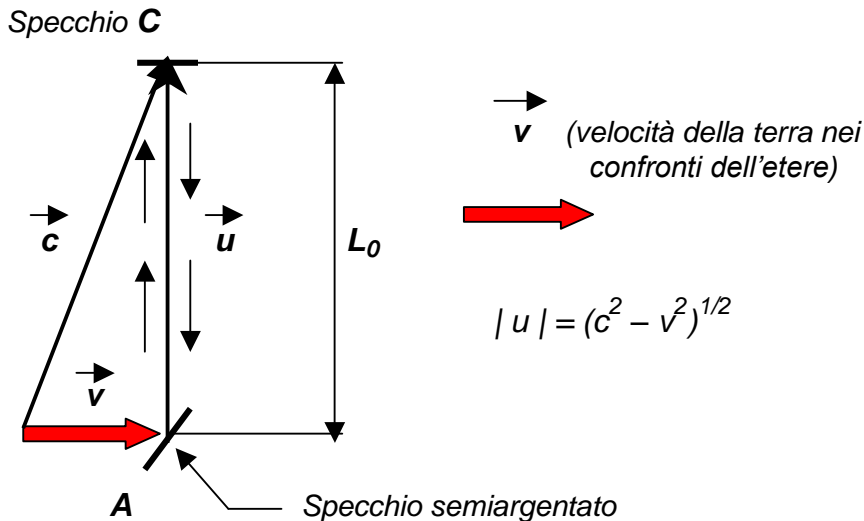
Analizziamo ora i due percorsi (A-B-A) ed (A-C-A), conservando l'orientamento rappresentato nella figura precedente:

per il percorso (A-B-A) il tempo impiegato dal fascio luminoso orientato nella direzione del moto della terra, sarà:



$$t = L / (c-v) + L / (c+v) = (2 \cdot c \cdot L) / (c^2 - v^2) = (2 \cdot L) / [c \cdot (1 - v^2 / c^2)] \quad (3)$$

mentre per il fascio (A-C-A) orientato trasversalmente alla direzione del moto terrestre nei confronti dell'etere avremo:



$$t_0 = (2 \cdot L_0) / |u| = (2 \cdot L_0) / (c^2 - v^2)^{1/2} = (2 \cdot L_0) / [c \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2}] \quad (4)$$

Il fatto che non siano state rilevate differenze nello spostamento delle frange di interferenza, porta a concludere che i tempi di percorrenza dei due fasci luminosi, lungo i bracci dell'interferometro siano uguali, cioè:

$$t = t_0$$

A questo punto se si vuole salvare l'ipotesi dell'etere, cioè di un mezzo attraverso il quale si propagano le onde luminose e gli si vuole attribuire uno stato di riposo in un suo particolare sistema di riferimento, (nel quale valgono le equazioni di Maxwell e quindi la velocità della luce (c) è costante per tutte le direzioni di propagazione), dall'esame degli ultimi membri delle due espressioni (3) e (4), si evince che la differenza è da ricercarsi nei termini (L) ed (L₀), cioè nella lunghezza dei bracci dell'interferometro.

Mettiamo quindi a confronto queste due lunghezze, eguagliando gli ultimi termini delle (3) e (4) per ottenere:

$$(2 \cdot L) / [c \cdot (1 - v^2 / c^2)] = (2 \cdot L_0) / [c \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2}]$$

da cui:

$$L = L_0 \cdot [(1 - v^2/c^2) / (1 - v^2/c^2)^{1/2}] = L_0 \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad (5)$$

Esaminando la (5) vediamo che il braccio orientato secondo la velocità (v) del moto nei confronti dell'etere, subisce una contrazione per un fattore: $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$; ritrovando così la (1).

Nel sistema di riferimento solidale con l'etere a riposo, la lunghezza dei due bracci sarebbe la stessa ed il tempo di percorrenza (t_0) sarebbe:

$$t_0 = 2 \cdot L_0 / c \quad (6)$$

Possiamo a questo punto, renderci conto di un'altra importante conseguenza, che ci deriva dall'ipotesi sull'esistenza dell'etere e dal risultato dell'esperimento; allo scopo, dividiamo membro a membro la (3) con la (6), dove nella (3) sostituiamo (L) col valore fornito dalla (5), per ottenere:

$$t / t_0 = [(2 \cdot L_0 \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2} \cdot c) / [c \cdot (1 - v^2/c^2) \cdot 2 \cdot L_0]]$$

da cui:

$$t = t_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad (7)$$

siccome il termine $[(1 - v^2/c^2)^{1/2} < 1]$, la (7) ci dice che un fenomeno della durata (t_0) nel sistema a riposo con l'etere, per evolversi nel sistema in moto richiede un tempo (t) più lungo.

Questo significa che un orologio, il quale comunque sia concepito, avanza col ritmo imposto da un qualunque fenomeno fisico periodico, (il battito cardiaco; l'oscillazione di un pendolo; la frequenza di una particolare oscillazione atomica), quando viene trasportato in un sistema di riferimento in moto nei confronti dell'etere, rallenta il suo movimento, rimanendo in ritardo e registrando intervalli di tempo minori, rispetto ad un analogo cronometro posto a riposo nell'etere.

L'apparente incongruenza tra l'espressione (7) e la (2) deriva dal fatto, che (t) e (t_0) nella (7) esprimono per lo stesso fenomeno la diversa durata nei due sistemi, mentre nella (2), (t) e (t_0) sono le indicazioni sui quadranti dei cronometri, nei due sistemi e naturalmente un orologio più lento rimarrà indietro segnando un tempo minore.

Le evidenze sperimentali di questo fenomeno sono oramai così tante, che non vi sono più dubbi sulla solidità di questa previsione.

Il modo nel quale siamo giunti a questa conclusione, ci porta a pensare che la stessa solidità, si possa attribuire alla contrazione della lunghezza dei corpi in movimento.

Se Albert Einstein nel 1905 avesse costruito la sua teoria su queste due conseguenze, senza imporre per decreto i suoi due postulati: "Principio di relatività" e "costanza della velocità della luce (c) in tutti i sistemi inerziali", avrebbe probabilmente costruito una teoria molto simile a quella che nel proseguo chiamerò "Teoria della relatività inerziale", incontrando quasi sicuramente il favore incondizionato di Lorentz, del quale riporto da "Sottile è il Signore" di Abraham Pais come si esprimeva, ad otto anni di distanza nel corso delle conferenze tenute alla Fondazione Teyler a Haarlem nel 1913:

["Secondo Einstein, non ha senso parlare di moto rispetto all'etere. Allo stesso modo Einstein nega l'esistenza della simultaneità assoluta. E' certo sorprendente che questi concetti relativistici, anche quelli riguardanti il tempo, siano stati accettati così rapidamente. La loro accettazione è in primo luogo un problema di carattere epistemologico (...) E' certo, tuttavia, che dipende in larga misura dal modo in cui si è abituati a pensare, il fatto di essere attratti dall'una piuttosto che dall'altra interpretazione. Per quanto riguarda chi vi parla, ho una certa preferenza per le interpretazioni precedenti, secondo le quali l'etere possiede almeno una qualche esistenza reale, lo spazio e il tempo

possono essere nettamente separati, e si può parlare di simultaneità senza ulteriori specificazioni. Quanto a quest'ultimo punto, si può forse fare appello alla nostra capacità di immaginare velocità arbitrariamente grandi; in tal modo si giunge assai vicino al concetto di simultaneità assoluta. Infine si dovrebbe rilevare che l'asserzione, alquanto temeraria, che non sia mai possibile osservare velocità superiori a quella della luce, contiene una restrizione ipotetica di ciò che ci è accessibile, [restrizione] che non si può accettare senza qualche riserva.”]

Nella premessa Pais scrive:

[“Lorentz riteneva ancora che la contrazione dei regoli dovesse avere un'origine dinamica. Senza dubbio a quell'epoca aveva letto e compreso gli articoli di Einstein. Tuttavia, né allora né in seguito fu disposto ad accettare quei risultati come soluzione definitiva dei problemi dell'etere.”]

Appendice 2 - Le trasformazioni inerziali

In questa appendice esplicherò il metodo che ho utilizzato per ottenere le “Trasformazioni inerziali”, se ricordi nella Terza parte le ho presentate senza dimostrazione.

Riprendo il discorso, come l’avevo lasciato, ricordando lo schema concettuale, il quale prevede tre osservatori: (O_0) a riposo nell’etere, (O) e (O') in moto lungo gli assi comuni ($O-x_0$), ($O-x$) e ($O-x'$) con le rispettive velocità (v_1) e (v_2) nei confronti di (O_0), secondo lo schema della Fig.6, dove una lampada emette un flash all’istante comune ($t_0 = t = t' = 0$) nel quale le origini e gli assi coordinati dei tre osservatori si sovrappongono.

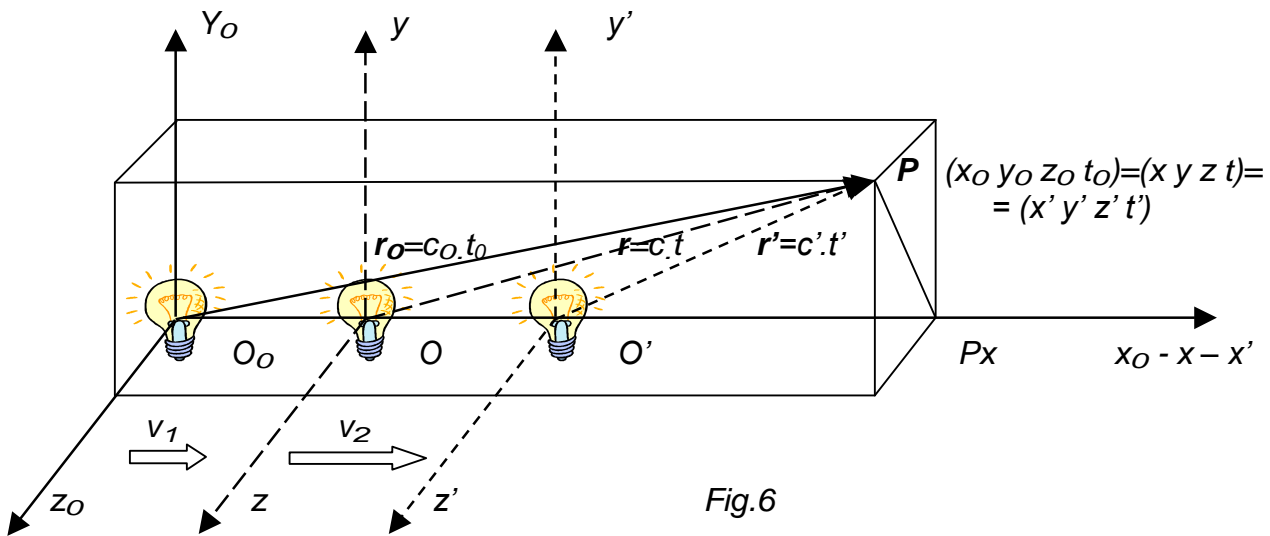


Fig.6

Applicando le relazioni (2.5) e (2.8) alla nuova situazione presentata, otteniamo le:

$$x = (x_0 - v_1 \cdot t_0) / \gamma_1 \quad (2.11)$$

$$x' = (x_0 - v_2 \cdot t_0) / \gamma_2 \quad (2.12)$$

$$x_0 = x \cdot \gamma_1 + v_1 \cdot t / \gamma_1 \quad (2.13)$$

$$x_0 = x' \cdot \gamma_2 + v_2 \cdot t' / \gamma_2 \quad (2.14)$$

dove abbiamo posto: $\gamma_1 = (1 - v_1^2/c^2)^{1/2}$ e $\gamma_2 = (1 - v_2^2/c^2)^{1/2}$

eguagliando la (2.13) con la (2.14) si ha:

$$x' \cdot \gamma_2 + v_2 \cdot t' / \gamma_2 = x \cdot \gamma_1 + v_1 \cdot t / \gamma_1$$

da cui, ricaviamo (x'):

$$x' = (x \cdot \gamma_1 + v_1 \cdot t / \gamma_1 - v_2 \cdot t' / \gamma_2) / \gamma_2 \quad (2.15)$$

siccome poi, per la dilatazione dei tempi, dovrà essere:

$$t = t_0 \cdot \gamma_1 \qquad t' = t_0 \cdot \gamma_2$$

da cui:

$$t_0 = t / \gamma_1 \qquad (2.16)$$

$$t_0 = t' / \gamma_2 \qquad (2.17)$$

eguagliamo le (2.16) e (2.17) per avere:

$$t / \gamma_1 = t' / \gamma_2$$

e poi:

$$t' = t \cdot \gamma_2 / \gamma_1 \qquad (2.18)$$

da cui sostituendo nella (2.15) il termine (t') dato dalla (2.18) abbiamo:

$$x' = (x \cdot \gamma_1 + v_1 \cdot t / \gamma_1 - v_2 \cdot t / \gamma_1) / \gamma_2$$

per poi ottenere:

$$x' = (x \cdot \gamma_1 / \gamma_2 + v_1 \cdot t / \gamma_1 \cdot \gamma_2 - v_2 \cdot t / \gamma_1 \cdot \gamma_2)$$

da cui:

$$x' = x \cdot \gamma_1 / \gamma_2 - (v_2 - v_1) \cdot t / \gamma_1 \cdot \gamma_2$$

ed infine:

$$x' = (x \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1) \cdot t) / \gamma_1 \cdot \gamma_2 \qquad (2.19)$$

Ricordando che $(v_2 - v_1)$ è la velocità relativa tra (O) e (O') , vediamo che la (2.19) si differenzia dal risultato espresso dalla (2.5) e nel caso dove $(v_1 = 0)$, possiamo porre l'identità $(v_2 = v)$, da cui segue $(\gamma_1 = 1)$ e $(\gamma_2 = \gamma)$ per ottenere alla fine:

$$x' = (x - v \cdot t) / \gamma \qquad (2.20)$$

la quale è identica alla (2.5) ed è quanto ci si poteva attendere nel caso particolare dove $(v_1 = 0)$ e l'osservatore (O) può essere identificato con l'osservatore (O_0) .

Ricaviamo ora la trasformazione inversa: sempre eguagliando le (2.13) e (2.14):

$$x \cdot \gamma_1 + v_1 \cdot t / \gamma_1 = x' \cdot \gamma_2 + v_2 \cdot t' / \gamma_2$$

ora ricaviamo la (x) :

$$x = (x' \cdot \gamma_2 + v_2 \cdot t' / \gamma_2 - v_1 \cdot t / \gamma_1) / \gamma_1 \qquad (2.21)$$

mentre dalla (2.18) ricaviamo:

$$t = t' \cdot \gamma_1 / \gamma_2$$

per poi sostituirlo nella (2.21) ed ottenere:

$$x = (x' \cdot \gamma_2 + v_2 \cdot t' / \gamma_2 - v_1 \cdot t' / \gamma_2) / \gamma_1 \quad (2.22)$$

dalla quale dopo alcuni passaggi si ricava la relazione cercata:

$$x = (x' \cdot \gamma_2^2 + (v_2 - v_1) \cdot t') / \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad (2.23)$$

ricordando anche qui, che $(v_2 - v_1)$ è la velocità relativa tra (O) e (O') , vediamo che la (2.23) si differenzia dal risultato espresso dalla (2.8 bis) e nel caso dove $(v_1 = 0)$, possiamo porre l'identità $(v_2 = v)$, da cui segue $(\gamma_1 = 1)$ e $(\gamma_2 = \gamma)$ per ottenere infine:

$$x = (x' \cdot \gamma^2 + v \cdot t') / \gamma \quad (2.24)$$

la quale è identica alla (2.8 bis) ed è quanto ci si poteva attendere nel caso particolare dove $(v_1 = 0)$ e l'osservatore (O) può essere identificato con l'osservatore (O_0) .

Appendice 3 - La trasformazione inerziale delle velocità

Nella Terza parte abbiamo presentato le nostre “Trasformazioni inerziali”, alternative alle “Trasformazioni di Lorentz”, le quali permettono la trasformazione delle coordinate tra i vari sistemi di riferimento inerziali, in questa appendice invece, ci occuperemo della trasformazione delle velocità che si ricava dalla loro applicazione, mettendo a confronto i nostri risultati, con quelli noti della Relatività speciale.

Cominciamo con l’osservare che per una particella [A (x,y,z,t); A (x',y',z',t')] in moto alla velocità (V) per l’osservatore (O) e (V') per un altro osservatore (O') dovrà essere:

$$V_x = dx / dt \quad V_y = dy / dt \quad V_z = dz / dt$$

nel sistema di riferimento (O x y z t) dell’osservatore (O) e:

$$V'_x = dx' / dt' \quad V'_y = dy' / dt' \quad V'_z = dz' / dt'$$

nel sistema (O' x' y' z' t') dell’osservatore (O').

Per una introduzione più graduale al caso generale, ricaviamo la trasformazione delle velocità nel caso particolare dove il sistema di uno degli osservatori (O x y z t) è a riposo nell’etere, mentre il sistema dell’osservatore (O' x' y' z' t') è in moto lungo l’asse (O – x) alla velocità (v).

Allo scopo, differenziamo le “Trasformazioni inerziali” :

$$x' = (x - v.t) / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z$$

$$t' = t . (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

ottenendo :

$$dx' = (dx - v.dt) / (1 - v^2/c^2)^{1/2} = [(V_x - v) . dt] / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \text{ dove ho sostituito } (dx = V_x.dt)$$

$$dy' = dy$$

$$dz' = dz$$

$$dt' = dt . (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

dividendo ora membro a membro la prima seconda e terza di queste espressioni per la quarta, si ha:

$$V'_x = (V_x - v) / (1 - v^2/c^2) \quad ; \quad V'_y = V_y / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad ; \quad V'_z = V_z / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

valide nel caso di (v) orientato secondo l’asse (O-x) e (V) con orientamento qualsiasi.

Nel caso particolare (V_x = V), dove la velocità della particella (A) non ha componenti lungo gli assi (O-y) e (O-z) le precedenti relazioni si riducono alla:

$$\boxed{V' = (V - v) / (1 - v^2/c^2)} \quad (3.1)$$

la quale per (V = c , dove la particella A si identifica con un fotone), ci restituisce:

$$V' = (c - v) / (1 - v^2/c^2) = (c - v) / [(c^2 - v^2) / c^2] = [(c - v) \cdot c^2] / [(c + v) \cdot (c - v)]$$

la quale per $[(c - v) \neq 0]$ e quindi $(v \neq c)$ ci restituisce:

$$V' = c^2 / (c + v) \quad (3.2)$$

dalla quale si evince che $(V' = c)$ solo nel caso particolare dove $(v = 0)$ ed anche il sistema $(O' x' y' z' t')$ si trova a riposo nell'etere, in tutti gli altri casi (escluso il caso $v = c$) per (V') , otteniamo:

$$c^2 / (c + v) < V' < c^2 / (c - v)$$

a seconda che le velocità (V) e (v) siano parallele e concordi o antiparallele.

Il risultato appena ottenuto è in palese disaccordo col risultato relativistico, nel quale l'espressione analoga alla nostra (3.1) è la:

$$V' = (V - v) / (1 - v \cdot V/c^2) \quad (3.3)$$

la quale per $(V = c)$ ci restituisce sempre $(V' = c)$ per qualunque valore assunto da (v) , sempre escluso il valore $(v = c)$, il quale al pari del nostro caso, porta ad una forma matematica indeterminata.

I due risultati:

$$V' = c^2 / (c \pm v) \quad (3.4) \quad (\text{ottenuto con le "Trasformazioni inerziali"})$$

e

$$V' = c \quad (3.5) \quad (\text{ottenuto con le "Trasformazioni di Lorentz"})$$

che fissano i limiti di variabilità per la velocità della luce nei vari sistemi di riferimento inerziali, riflettono la diversa impostazione data al problema: da noi e da Einstein, il quale assunse per decreto che la velocità della luce (c) dovesse essere la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Se nella (3.4) poniamo al denominatore il segno $(-)$ che corrisponde a (c) e (v) antiparallele, vediamo che al tendere di (v) a (c) , (V') tende ad assumere un valore infinito, la cosa in un primo momento mi ha lasciato interdetto, poi il risveglio del mattino seguente mi regalò la soluzione:

<< non dimentichiamo che la velocità (V') viene valutata dall'osservatore (O') misurando lo spostamento del fotone (A) col suo regolo, sempre più accorciato dalla contrazione di Lorentz (di conseguenza il regolo è contenuto sempre più volte nello spostamento valutato, restituendone una misura crescente), mentre il tempo nel quale avviene lo spostamento lo misura col suo cronometro, rallentato dalla dilatazione dei tempi (rilevando così una durata decrescente per questo spostamento); naturalmente in queste condizioni l'operazione $(V' = \text{Spazio} / \text{tempo})$ restituisce un valore che tende all'infinito, in accordo col risultato previsto dalla (3.4) >>.

Affrontiamo ora il caso più generale, dove due sistemi di riferimento $(O x y z t)$ e $(O' x' y' z' t')$ sono in moto alle rispettive velocità (v_1) e (v_2) , nei confronti del sistema inerziale $(O_0 x_0 y_0 z_0 t_0)$ a riposo nell'etere, sempre con l'ipotesi che le origini (O) e (O') dei due sistemi si muovano lungo il suo asse $(O_0 - x_0)$, con gli assi a due a due paralleli; in queste condizioni la loro velocità relativa sarà $(v_2 - v_1)$.

Allo scopo, riprendiamo dalla Terza parte le trasformazioni inerziali più generali 1) e 3) :

$$x' = (x \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1) \cdot t) / \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z$$

$$t' = t \cdot \gamma_2 / \gamma_1$$

nelle quali abbiamo posto: $\gamma_1 = (1 - v_1^2/c^2)^{1/2}$ e $\gamma_2 = (1 - v_2^2/c^2)^{1/2}$
e ne ricaviamo la forma differenziale:

$$dx' = (dx \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1) \cdot dt) / \gamma_1 \cdot \gamma_2 = [[Vx \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1)] / \gamma_1 \cdot \gamma_2] \cdot dt$$

$$dy' = dy \quad ; \quad dz' = dz \quad ; \quad dt' = dt \cdot \gamma_2 / \gamma_1$$

dividendo ora membro a membro la prima seconda e terza di queste espressioni per la quarta, si ha:

$$V'x = [Vx \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1)] / \gamma_2^2 \quad ; \quad V'y = Vy \cdot \gamma_1 / \gamma_2 \quad ; \quad V'z = Vz \cdot \gamma_1 / \gamma_2$$

Nel caso particolare ($Vx = V$), dove la velocità della particella (A) non ha componenti lungo gli assi (O-y) e (O-z) le precedenti relazioni si riducono alla:

$$V' = [V \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1)] / \gamma_2^2 \quad (3.6)$$

La (3.6) rappresenta il caso più generale di trasformazione delle velocità per "Trasformazioni inerziali", sempre limitatamente alle ipotesi di parallelismo degli assi e moti paralleli.

Discutiamo il risultato che si può ottenere dalla (3.6), nel seguente caso particolare:

$$\text{per } v_1 = 0 \quad \text{e} \quad v_2 = v \quad \text{si ha} \quad \gamma_1 = 1 \quad \text{e} \quad \gamma_2 = \gamma$$

osservando che $\gamma^2 = (1 - v^2/c^2)$ si ottiene:

$$V' = (V - v) / (1 - v^2/c^2)$$

Abbiamo così ritrovato la (3.1) come risultato particolare della relazione più generale (3.6), come d'altronde ci dovevamo aspettare, essendoci con queste ipotesi allineati col quadro fisico che a suo tempo ci ha permesso di ricavarla.

Appendice 4 - L'intervallo invariante per trasformazioni inerziali

La teoria della relatività assume una particolare eleganza, se trattata con l'utilizzo di quello che viene chiamato lo **spazio-tempo** o **cronotopo** di Minkowski.

Questa trattazione trae la sua forza, nel fatto, che la relatività prevede ci siano due quantità invarianti, per le quali tutti gli osservatori inerziali misurano lo stesso valore; queste quantità sono:

- La velocità (c) della luce nel vuoto (costante per tutti gli osservatori inerziali)
- Quello che nello spazio di Minkowski, viene chiamato l'intervallo (s_{12}) tra l'evento (1) e l'evento (2), il cui quadrato (s_{12}^2) può essere così definito:

$$s_{12}^2 = x_{12}^2 + y_{12}^2 + z_{12}^2 - c^2 t_{12}^2 \quad (4.1)$$

$$(\text{altri autori lo definiscono invertito } s_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - x_{12}^2 - y_{12}^2 - z_{12}^2)$$

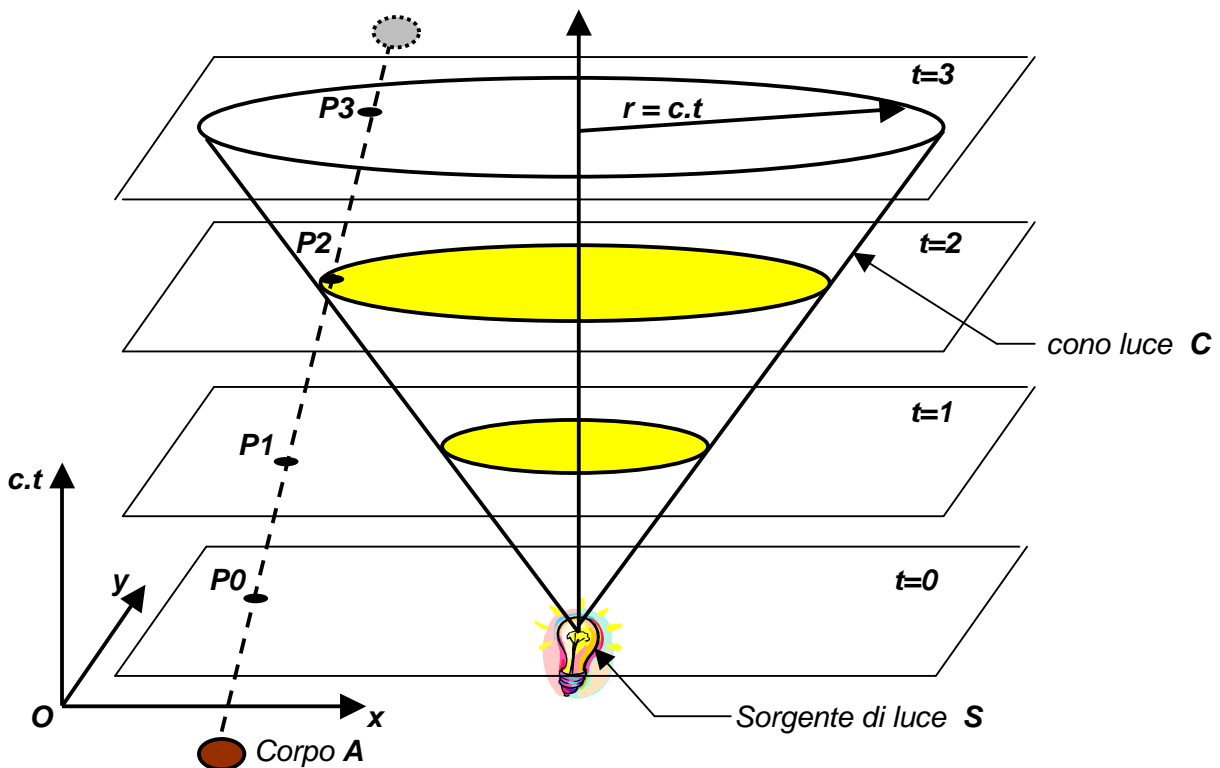
dove la somma dei termini:

$$(x_{12}^2 + y_{12}^2 + z_{12}^2)$$

esprime il quadrato della distanza spaziale tra i due punti, nei quali hanno luogo gli eventi, mentre (t_{12}) indica l'intervallo temporale tra i due eventi.

Affermiamo senza dimostrazione che questo intervallo, definito in una qualunque delle due forme presentate è invariante per applicazione delle trasformazioni di Lorentz della relatività speciale (la dimostrazione si trova su tutti i libri di fisica che trattano la teoria della relatività).

Per dare una visualizzazione grafica dello spazio di Minkowski, sacrifichiamo una dimensione spaziale e limitiamo le nostre considerazioni ad eventi che hanno luogo su di un piano.



Nella figura i piani orizzontali sono il luogo degli eventi che avvengono simultaneamente, essendo ognuno di essi la rappresentazione dell'equazione: **(t = costante)**.

Con questa rappresentazione si può dare un'immagine intuitiva dell'universo, dove i piani orizzontali rappresentano strati di punti universo simultanei, mentre le linee verticali formano fibre di punti universo di eventi che avvengono nello stesso luogo o posizione (punti statici che non cambiano la loro posizione col trascorrere del tempo).

Ogni punto di intersezione tra le fibre verticali e gli strati orizzontali, rappresenta un punto che si può localizzare con le solite coordinate spaziali (x,y,z) ed una coordinata temporale (t), ad esempio per i punti **P0, P1, P2, P3**, sulla traiettoria percorsa dal corpo (**A**), possiamo usare la notazione:

P0(x₀,y₀,z₀,t₀) ; P1(x₁,y₁,z₁,t₁) ; P2(x₂,y₂,z₂,t₂) ; P3(x₃,y₃,z₃,t₃) rispettivamente.

La traiettoria del corpo (**A**) nello spazio tempo, viene chiamata la sua **linea di universo**, e se il corpo è in movimento, per quanto detto sul significato delle rette verticali, questa sarà sempre una linea più o meno inclinata rispetto alla verticale.

A questa linea di universo, appartengono tutti e soltanto i punti dello spazio-tempo successivamente occupati dal corpo (**P0, P1, P2, P3**), quindi due corpi si incontrano solo se le loro linee di universo si incontrano in qualche punto dello spazio-tempo.

Sempre nella figura abbiamo rappresentato una sorgente luminosa (**S**) che viene accesa all'istante (**t=0**) e come vediamo; agli istanti successivi: (**t=1**), (**t=2**), (**t=3**), la zona illuminata interessa sempre più punti dello spazio-tempo, (i punti all'interno delle circonferenze) e con un piccolo sforzo supplementare (aggiungendo la terza dimensione spaziale (**z**)), possiamo pensare questi cerchi come sfere, il cui raggio è dato dalla relazione:

$$r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2} \quad \text{ma anche dalla} \quad r = c \cdot t \quad (4.2)$$

Se noi introduciamo questi valori nella relazione (4.1) otteniamo **l'intervallo spazio-temporale**: tra l'evento rappresentato dall'accensione della sorgente luminosa (**S**), ed i punti dello spazio, successivamente raggiunti dai suoi raggi luminosi.

Per come sono definite le relazioni (4.2), gli intervalli temporali che possiamo ottenere dalla (4.1), sono tutti nulli ed i punti giacciono (nella nostra rappresentazione semplificata) sulle circonferenze disegnate sui vari piani; definendo quello che viene solitamente chiamato: **cono luce** di questo evento.

Esaminando la relazione (4.1) possiamo renderci conto che **l'intervallo spazio temporale** può assumere i seguenti valori:

- s = 0** sulla superficie del cono luce (e viene definito: **intervallo di tipo luce**)
- s < 0** interno alla superficie del cono luce (" : **intervallo di tipo tempo**)
- s > 0** esterno alla superficie del cono luce (" : **intervallo di tipo spazio**)

Per il primo ed il secondo caso, ad esempio i punti (**P2** e **P3**) della traiettoria del corpo (**A**) in relazione al punto (**S**) di accensione della lampada, si può dire: che gli eventi separati da tali intervalli, possono essere in relazione causa-effetto.

Nel nostro esempio, questa relazione può essere rappresentata, dall'illuminazione del corpo (**A**) nell'istante in cui entra nel cono luce dell'evento: **accensione della sorgente luminosa (S)**.

L'intervallo spazio-temporale (s) da considerare in questo esempio è quello tra l'evento, rappresentato dal superamento della superficie del cono luce da parte del corpo (**A**) nel punto (**P2**) e l'evento accensione della lampada, nel punto spazio temporale **S**(x_s , y_s , z_s , 0), cioè:

$$s = [(x_2 - x_s)^2 + (y_2 - y_s)^2 + (z_2 - z_s)^2 - c^2 \cdot (t_2 - 0)^2]^{1/2} = 0$$

Per il terzo caso ($s > 0$), ad esempio i punti (**P0** e **P1**) sempre in relazione al punto (**S**) di accensione della lampada, gli eventi separati da questo tipo di intervallo non possono in alcun modo influenzarsi l'un l'altro con relazioni di causa-effetto, in nessun sistema di riferimento, anche se la comunicazione tra gli eventi fosse realizzata alla velocità (c) della luce.

Questo equivale a dire che il corpo (**A**) quando si trova nei punti spazio-temporali (**P0** e **P1**) non potrà mai essere testimone dell'accensione della lampada (**S**) e non potrà mai, per esempio: impedirne l'accensione (naturalmente nell'ipotesi che l'interruttore si trovi nelle vicinanze della lampada e la linea elettrica che lo alimenta non passi nelle vicinanze dei punti **P0** e **P1**).

Se a questo punto della trattazione, andiamo a considerare eventi che accadono a distanze temporali e spaziali piccolissime, possiamo adottare il formalismo della geometria differenziale per l'intervallo spazio temporale, scrivendo:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 \cdot dt^2 \quad (4.3)$$

e come abbiamo già detto in precedenza, questo intervallo è un invariante tra tutti i sistemi di riferimento inerziali per trasformazioni di coordinate, ottenute con le "Trasformazioni di Lorentz", della Relatività speciale.

Vediamo ora la analoga trattazione che segue dall'applicazione delle nostre "Trasformazioni inerziali", naturalmente avendo noi ipotizzato un sistema di riferimento privilegiato, a riposo nell'etere nel quale valgono senza modifiche le equazioni di Maxwell dell'elettromagnetismo; limitatamente a questo sistema di riferimento, dovremmo ritrovare per l'intervallo invariante la (4.3), come caso particolare di un intervallo spazio-temporale valido in tutti gli altri sistemi di riferimento; questo perché se ci limitassimo a trattare solo questo sistema inerziale, avremmo dal punto di vista formale, lo stesso risultato relativistico; ricordiamo che per noi, nel sistema inerziale dell'osservatore (S_0), la velocità della luce è costante e vale (c) in tutte le direzioni, come prevede anche la teoria della relatività e questo è il presupposto per la descrizione spazio-temporale di Minkowski.

Con l'obiettivo di ricercare questa nuova quantità invariante, e dopo ripetuti tentativi, ho individuato per la stessa la seguente relazione:

$$ds_i^2 = \gamma_i^2 \cdot dx_i^2 + 2 \cdot v_i \cdot dx_i \cdot dt_i + dy_i^2 + dz_i^2 - c^2 \cdot dt_i^2 \quad (4.4)$$

dove col pedice (i) ho indicato le grandezze relative, al generico sistema inerziale (i esimo), ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$); con (v_i) la velocità lungo l'asse positivo ($O_0 - x_0$) dell'origine (O_i) del sistema di riferimento in esame, (assumendo che ($O_0 x_0 y_0 z_0 t_0$) sia il sistema inerziale privilegiato a riposo nell'etere) mentre come al solito:

$$\gamma_i = (1 - v_i^2/c^2)^{1/2} \quad (4.5)$$

è il fattore della contrazione di Lorentz che corrisponde alla velocità (v_i) dei corpi nei confronti dell'etere.

La differenza più evidente tra la nostra (4.4) e la (4.3) relativistica è la comparsa al primo termine del fattore (γ_i^2) e l'aggiunta del secondo termine misto ($2 \cdot v_i \cdot dx_i \cdot dt_i$) i quali dipendendo entrambi dalla velocità (v_i) evidenziano gli effetti, per noi reali (come lo erano per Lorentz) del moto nei confronti dell'etere, rendendo di fatto non equivalenti tra loro, i vari sistemi di riferimento inerziali, in palese contrasto col "Principio di relatività" di Albert.

Con l'intento di rendere meglio confrontabile il nostro risultato con l'analogo relativistico, sostituiamo (γ_i) dato dalla (4.5) nella (4.4) per ottenere:

$$ds_i^2 = (1 - v_i^2/c^2) \cdot dx_i^2 + 2 \cdot v_i \cdot dx_i \cdot dt_i + dy_i^2 + dz_i^2 - c^2 \cdot dt_i^2$$

$$ds_i^2 = dx_i^2 + dy_i^2 + dz_i^2 - v_i^2 \cdot dx_i^2 / c^2 - c^2 \cdot dt_i^2 + 2 \cdot v_i \cdot dx_i \cdot dt_i \quad (4.6)$$

osservando poi che:

$$-(v_i \cdot dx_i / c - c \cdot dt_i)^2 = -v_i^2 \cdot dx_i^2 / c^2 - c^2 \cdot dt_i^2 + 2 \cdot v_i \cdot dx_i \cdot dt_i$$

e sostituendo nella (4.6), ricaviamo la:

$$ds_i^2 = dx_i^2 + dy_i^2 + dz_i^2 - [(v_i / c) \cdot dx_i - c \cdot dt_i]^2 \quad (4.7)$$

La (4.7) non è altro che la (4.4) presentata in un'altra forma, la quale si presta ad un confronto diretto col risultato relativistico espresso dalla (4.3).

L'intervallo spazio-temporale dato dalle (4.4) e (4.7) tra loro equivalenti è invariante per applicazione delle "Trasformazioni inerziali" e nel seguito andiamo a dimostrarlo.

Allo scopo prendiamo le 1') e 3') presentate nella Terza parte, aggiornandone le notazioni, per conformarle alla situazione in esame:

$$x_i = (x_0 - v_i \cdot t_0) / \gamma_i \quad y_i = y_0 \quad z_i = z_0 \quad t_i = t_0 \cdot \gamma_i \quad (4.8)$$

poi le riscriviamo in forma differenziale:

$$dx_i = (dx_0 - v_i \cdot dt_0) / \gamma_i \quad ; \quad dy_i = dy_0 \quad ; \quad dz_i = dz_0 \quad ; \quad dt_i = dt_0 \cdot \gamma_i \quad (4.9)$$

per andare a sostituire i differenziali così ottenuti nella (4.4):

$$ds_i^2 = \gamma_i^2 \cdot [(dx_0 - v_i \cdot dt_0) / \gamma_i]^2 + 2 \cdot v_i \cdot [(dx_0 - v_i \cdot dt_0) / \gamma_i] \cdot [dt_0 \cdot \gamma_i] + dy_0^2 + dz_0^2 - c^2 \cdot [dt_0 \cdot \gamma_i]^2$$

e ricavando dopo alcuni passaggi la:

$$ds_i^2 = dx_0^2 + dy_0^2 + dz_0^2 - [(c^2 - v_i^2) / \gamma_i^2] \cdot dt_0^2 \quad (4.10)$$

siccome poi:

$$\gamma_i = (1 - v_i^2 / c^2)^{1/2} = [(c^2 - v_i^2) / c^2]^{1/2}$$

da cui si ricava:

$$\gamma_i^2 = (c^2 - v_i^2) / c^2$$

la quale sostituita nella (4.10) ci restituisce:

$$ds_i^2 = dx_0^2 + dy_0^2 + dz_0^2 - c^2 \cdot dt_0^2 \quad (4.11)$$

L'applicazione ricorsiva di questo metodo a qualsiasi sistema inerziale (i esimo) ci restituisce sempre per (ds_i^2) il risultato della (4.11), al secondo membro della quale, compaiono solamente grandezze misurate nel sistema inerziale a riposo nell'etere.

Da quanto esposto risulta dimostrata l'invarianza per "Trasformazioni inerziali" dell'intervallo spazio-temporale espresso dalle (4.4) e (4.7).

Il risultato della (4.11) si può ottenere direttamente dalla (4.7), sostituendo al secondo membro i parametri del sistema privilegiato ($dx_0, dy_0, dz_0, dt_0, v_0$) osservando che in questo caso ($v_0=0$) ed il termine $[(v_0 / c) \cdot dx_0]$ si annulla.

Il risultato espresso dalla (4.11) equivale al risultato della teoria della relatività, la quale però lo considera un risultato generale, valido per tutti i sistemi inerziali senza distinzione; mentre per noi rappresenta un caso particolare dell'espressione più generale (4.7), valida nel nostro paradigma in ogni sistema di riferimento inerziale.

Nell'impianto della Teoria generale della relatività, l'intervallo invariante (ds) rappresenta l'elemento di linea delle geodetiche.

Il confronto tra la nostra (4.7) e la (4.3) relativistica, ci porta a concludere che le equazioni della relatività generale coincidono con quelle, che si possono ricavare sostituendovi il nostro elemento di linea, solamente quando il termine $[(v_i / c) \cdot dx_i]$ risulta trascurabile, cioè nei casi dove ($v_i \ll c$), in tutti gli altri casi, le nostre conclusioni si differenziano in modo sempre più sensibile, al tendere di (v_i) a (c).

Le difficoltà matematiche insite nei metodi della Teoria generale della relatività unite al fatto che i risultati presentati in questa appendice, sono freschi di giornata, hanno fatto sì che l'indagine sulle variazioni da apportare alla teoria per l'adeguamento agli stessi, non sia ancora stata da me compiuta, non so se nel frattempo l'abbia compiuta il prof. Selleri, tra l'altro meglio attrezzato di me nell'affrontare queste questioni.

Sono convinto che se Lorentz fosse ancora in vita, apprezzerrebbe le "Trasformazioni inerziali", le quali sono coerenti col suo punto di vista, mentre per ironia del destino gli sono state attribuite le trasformazioni, che meno si sposano con la sua visione, la quale prevedeva che la contrazione delle lunghezze e la dilatazione dei tempi, fossero effetti reali e non illusioni ottiche che traggono in inganno gli osservatori, come invece prevede la teoria di Einstein.

Chi mi legge, giunto a questo punto, penserà che io sia una persona molto presuntuosa (non nego il possesso di una buona dose di autostima), chi invece mi conosce a fondo, credo possa riconoscermi tolleranza e apertura mentale, nell'accettare le idee altrui; però a questa mia caratteristica si contrappone il possesso di un vaglio, che ne impedisce l'accettazione acritica.

La vita mi ha insegnato che prima di agire bisogna capire e tutte le volte che ho derogato a questo principio, ho dovuto pagare un pegno non sempre indolore.

Non nascondo, di aver alle volte pagato dazio, anche per la radicalità del mio atteggiamento, ma non mi è mai pesato molto il pagarlo.

Spero ardentemente che il resto della vita, non mi faccia ricredere su questo punto e colgo l'occasione per accomiatarmi dai masochisti, che senza saltare tutto il resto, sono arrivati sino a questo punto della lettura, ed anche da quelli (più saggi) che hanno saltato tutto il resto.

Cordialmente vostro

Angelo Montorsi

Presentando all'editore le pagine precedenti, è emerso che le stesse sono troppo poche per riempire un libro con la consistenza necessaria per non cadere da tutte le parti, quando lo riporrai sullo scaffale della tua libreria.

*Provai a suggerire:
<< perché non ingrandiamo i caratteri >>
e lui obiettò, che la cosa sarebbe risultata
troppo evidente e di dubbio gusto.*

Mi vedo quindi costretto a riprendere la scrittura ed a rifilarti l'inizio della trattazione di quella che ho chiamato:

“ Teoria della relatività inerziale “

L'impegno di divertirti con il racconto di questioni di fisica, disatteso peraltro anche nelle pagine precedenti, nel proseguo si v'è proprio a far benedire e ne risulta uno di quegli scritti difficili e formali, che si incontrano sulle dispense universitarie, scritte apposta per farci soffrire gli studenti delle facoltà scientifiche, i quali le studiano per sostenere l'esame e ne dimenticano prontamente il contenuto.

“Ascolta quindi il consiglio di un amico, non ci provare neanche, lascia che ci provino quelli che se ne intendono”.

La trattazione che segue non è completa ed in parte è una ripetizione di quanto già scritto (avevo bisogno di aumentare il numero delle pagine) e si limita a giustificare le conseguenze della Relatività speciale, come casi particolari della nuova più generale teoria.

Il lettore che fosse interessato solamente alla nuova teoria, può iniziare la lettura da qui e fare incursioni nelle pagine precedenti, solo per approfondimento.

Buon divertimento (si fa per dire)

Indice:

<i>Introduzione</i>	<i>pag.</i>	<i>48</i>
<i>Prima parte - Le trasformazioni inerziali</i>	<i>"</i>	<i>50</i>
<i>Seconda parte - Teorema di addizione relativistico inerziale delle velocità</i>	<i>"</i>	<i>53</i>
<i>Terza parte - La Relatività inerziale con l'ausilio dei tetravettori</i>	<i>"</i>	<i>56</i>
<i>Quarta parte - Le nuove leggi della meccanica relativistico-inerziale</i>	<i>"</i>	<i>62</i>
<i>Quinta parte - Nuovi limiti per le velocità dei corpi materiali e della luce</i>	<i>"</i>	<i>71</i>
<i>Considerazioni conclusive</i>	<i>"</i>	<i>74</i>

Introduzione

Nelle pagine precedenti col titolo “Scusa Albert – il principio di relatività non mi convince”, ho presentato trasformazioni di coordinate tra sistemi di riferimento inerziali, alternative alle “Trasformazioni di Lorentz” della Teoria della relatività speciale di A.Einstein del 1905.

Queste trasformazioni , ricavate dall'autore in modo indipendente, non sono originali, però solo ora ad opera di Franco Selleri, professore di fisica teorica dell'università di Bari e dell'autore, stanno rivelando la loro forza esplicativa nei confronti del panorama sperimentale relativistico, col pregio di eliminare le offese al buon senso, che la Teoria della relatività speciale si porta dietro: la soggettività della simultaneità; la costanza della velocità della luce (di sola andata) in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Per queste nuove trasformazioni ho adottato la denominazione “Trasformazioni inerziali” in omaggio alla definizione che ne ha dato F.Selleri nel suo “Lezioni di relatività – da Einstein all'etere di Lorentz” edito dalla Progedit.

In Appendice 4 di “Scusa Albert” viene analizzata la descrizione spazio-temporale di Minkowski ed applicando le “Trasformazioni inerziali”, viene ridefinito l'intervallo spazio-temporale invariante, il quale assume la forma:

$$ds_i^2 = dx_i^2 + dy_i^2 + dz_i^2 - [(v_i / c) \cdot dx_i - c \cdot dt_i]^2 \quad (0.1)$$

dove col pedice (i) si intende un generico sistema di riferimento inerziale (i esimo) con (i= 0,1,2,...,n) e (v_i) è la velocità di spostamento dell'origine del sistema inerziale (S_i) sull'asse (O₀ – x₀) del sistema inerziale (S₀) supposto a riposo nell'etere.

La (0.1) calcolata su (S₀), per l'annullarsi del fattore (v_i= v₀= 0) assume la forma:

$$ds_0^2 = dx_0^2 + dy_0^2 + dz_0^2 - c^2 \cdot dt_0^2 \quad (0.2)$$

La (0.2) corrisponde alla definizione relativistica di Einstein, con la differenza sostanziale, che per noi questa è una soluzione particolare della (0.1) e non una soluzione valida in ogni sistema di riferimento inerziale, come invece assume la relatività speciale.

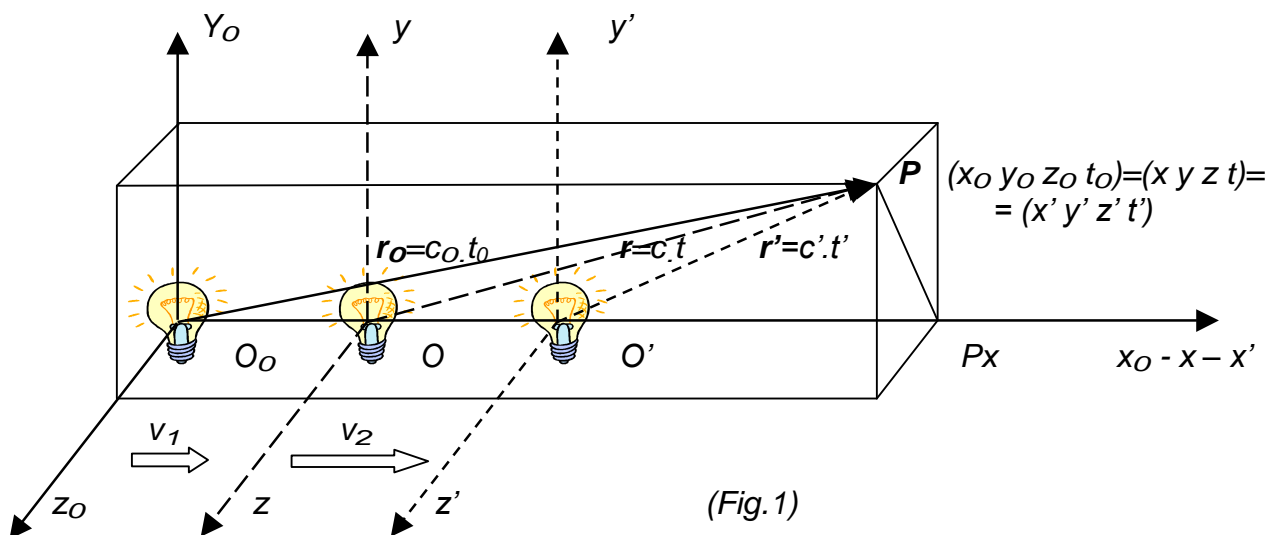
In altre parole il risultato della relatività speciale, la quale assegna pari dignità a tutti i sistemi di riferimento inerziali, risulta il caso particolare (v_i= 0) di una teoria che suppone l'esistenza di un sistema di riferimento privilegiato (S₀) a riposo nell'etere, nel quale e solo in esso valgono le equazioni di Maxwell dell'elettromagnetismo e la velocità della luce (c) è la stessa in ogni direzione.

In questo scritto, utilizzando come base il testo di Vittorio Banfi "Relatività e Astrodinamica edito da Levrotto & Bella, mi propongo di ricavare le equazioni relativistico-inerziali, conseguenti l'adozione delle "Trasformazioni inerziali" e della nuova definizione (0.1) per l'intervallo invariante.

Queste equazioni alternative a quelle della relatività ristretta o speciale del 1905 costituiranno il corpo della "Teoria della relatività inerziale" e come vedremo i risultati relativistici (escluso il teorema di addizione relativistica delle velocità, pesantemente influenzato dal "Principio di relatività"), si desumono come casi particolari del nostro più articolato formalismo.

Prima parte - Le “Trasformazioni inerziali”

Iniziamo la trattazione, presentando lo schema concettuale che mi ha portato alla definizione delle “Trasformazioni inerziali”.



Le fondamenta sulle quali ho eretto le “Trasformazioni inerziali” sono le seguenti:

- L'esistenza di un mezzo per la propagazione delle onde elettromagnetiche, denominato “etere” e di un sistema di riferimento inerziale privilegiato (S_0) a riposo nello stesso, nel quale la velocità della luce nel vuoto è (c) in ogni direzione.
- I corpi in moto nei confronti del sistema di riferimento inerziale (S_0) subiscono la contrazione di Lorentz per il fattore $[\gamma_i = (1 - v_i^2/c^2)^{1/2}]$ lungo la direzione della loro velocità (v_i).
- I fenomeni fisici che hanno una determinata durata quando si svolgono nel sistema a riposo (S_0), richiedono un tempo maggiore per svolgersi nei sistemi in moto alla velocità (v_i) nei confronti di (S_0), per un fattore $(1 / \gamma_i)$ (dilatazione dei tempi).

Dall'ipotesi (b) deriva che un regolo che ha lunghezza (L_0) quando è a riposo nel sistema privilegiato (S_0), si accorcia ed assume la lunghezza:

$$L' = L_0 \cdot (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad (1.4)$$

se posto in movimento alla velocità (v).

Con riferimento alla (Fig. 1), nella quale sono rappresentati tre sistemi di riferimento inerziali, legati agli osservatori: (O_0) a riposo nell'etere; (O) ed (O') in moto nei confronti di (O_0) alle rispettive velocità (v_1) e (v_2) lungo l'asse positivo ($O - X_0$), illustriamo la seguente

situazione sperimentale: all'istante ($t_0 = t = t' = 0$) le tre origini dei sistemi coincidono; gli assi coordinati sono momentaneamente sovrapposti ed una lampada posta nell'origine (O_0) emette un flash che dopo un tempo: (t_0) per l'osservatore (O_0); (t) per (O) e (t') per (O') illumina il punto (P) di coordinate ($x_0 y_0 z_0 t_0$) per (O_0); ($x y z t$) per (O) e ($x' y' z' t'$) per (O').

Le "Trasformazioni inerziali" sono le relazioni che permettono la trasformazione delle coordinate del punto (P) tra i sistemi di riferimento (S) dell'osservatore (O) e (S') dell'osservatore (O') e viceversa.

Le riporto senza dimostrazione, la quale si trova nell' Appendice 2 di "Scusa Albert": nella colonna di sinistra le nostre "Trasformazioni inerziali" ed a fianco sulla destra le corrispondenti "Trasformazioni di Lorentz" della Relatività speciale:

"Trasformazioni inerziali"
(Nuovo modello)

"Trasformazioni di Lorentz"
(Relatività speciale)

$$1) x' = (x \cdot \gamma_1^2 - (v_2 - v_1) \cdot t) / \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad ; y' = y \quad ; z' = z$$

$$2) x = (x' \cdot \gamma_2^2 + (v_2 - v_1) \cdot t') / \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad ; x = x' \quad ; z = z'$$

$$3) t' = t \cdot \gamma_2 / \gamma_1$$

$$4) t = t' \cdot \gamma_1 / \gamma_2$$

dove abbiamo posto: $\gamma_1 = (1 - v_1^2/c^2)^{1/2}$
e $\gamma_2 = (1 - v_2^2/c^2)^{1/2}$, con (v_1, v_2) le velocità relative all'etere dei due sistemi inerziali.

Queste per ($v_1=0$) e ($v_2=v$), da cui segue:
($\gamma_1=1$) e ($\gamma_2=\gamma$), si trasformano nelle:

$$1') \quad x' = (x - v \cdot t) / \gamma \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z$$

$$x' = (x - v \cdot t) / \gamma \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z$$

$$2') \quad x = (x' \cdot \gamma^2 + v \cdot t') / \gamma \quad ; \quad y = y' \quad ; \quad z = z'$$

$$x = (x' + v \cdot t') / \gamma \quad ; \quad y = y' \quad ; \quad z = z'$$

$$3') \quad t' = t \cdot \gamma$$

$$t' = (t - vx/c^2) / \gamma$$

$$4') \quad t = t' / \gamma$$

$$t = (t' + vx'/c^2) / \gamma$$

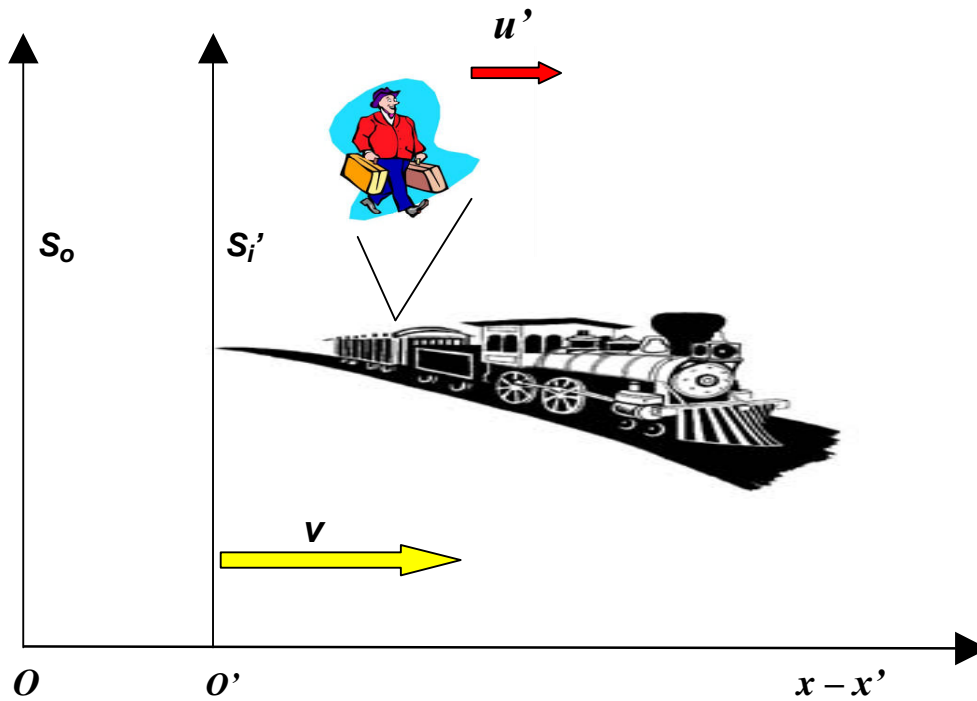
Le differenze che riscontriamo, tra le due versioni delle trasformazioni nasce dalla diversa interpretazione data all'esperimento di Michelson e Morley.

La relatività speciale assume che la costanza sulla misura della velocità della luce (c) rilevata dagli osservatori inerziali, sia un concetto, che porta alla perfetta equivalenza dei due sistemi, mentre dal nostro punto di vista, questo li rende solo difficilmente distinguibili.

L'apparente equivalenza tra la trasformazione: nostra e relativistica espressa nelle 1') è relativa al caso particolare nel quale uno degli osservatori (O x y z t) si può considerare solidale con l'etere, nel caso più generale vale la 1), la quale chiama in causa il diverso stato di moto dei due osservatori nei confronti del sistema privilegiato (S_0).

L'altra differenza è questa: per noi la contrazione di Lorentz e la dilatazione dei tempi, sono effetti reali ed oggettivi e non illusioni ottiche soggettive, come suppone la relatività Einsteniana.

Seconda parte - Teorema di addizione relativistico-inerziale delle velocità



(Fig.2)

Ricaviamo ora il teorema di addizione delle velocità, seguendo il paradigma delle “trasformazioni inerziali”.

Allo scopo, osservando la (Fig.2), immaginiamo di avere un treno solidale col sistema di coordinate (S_i') che viaggia alla velocità uniforme (v) rispetto ai binari, supposti a riposo nell'etere e solidali col sistema di riferimento a riposo (S_0).

Sul treno vi sia poi un passeggero che si muove alla velocità (u') rispetto al treno, la velocità (u) del passeggero rispetto ai binari è la somma vettoriale di (v) e (u') o in questo caso, essendo uguale la direzione ed il senso di percorrenza, la semplice somma:

$$u = u' + v \quad (2.1)$$

questo è il semplice teorema di addizione delle velocità della fisica classica.

Vediamo ora come si sommano queste velocità nel nostro paradigma, allo scopo riscriviamo le trasformazioni inerziali:

$$x' = (x - v.t) / \gamma \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z \quad ; \quad t' = t \cdot \gamma \quad (2.2)$$

$$x = (x' \cdot \gamma^2 + v.t') / \gamma \quad ; \quad y = y' \quad ; \quad z = z' \quad ; \quad t = t' / \gamma \quad (2.3)$$

$$\text{con } \gamma = (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

Con riferimento alla (Fig.2), avremo la posizione del passeggero sul treno, variabile con la legge:

$$x' = u' \cdot t'$$

nella quale andiamo a sostituire (x') e (t') ricavati dalle (2.2) per ottenere:

$$\begin{aligned} x' = u' \cdot t' &= (x - v \cdot t) / \gamma \\ (x - v \cdot t) &= \gamma \cdot u' \cdot t' = \gamma \cdot u' \cdot (t \cdot \gamma) = u' \cdot \gamma^2 \cdot t \end{aligned}$$

da cui:

$$x = t \cdot (u' \cdot \gamma^2 + v) \quad (2.4)$$

questa relazione esprime lo spazio percorso dal passeggero in funzione del tempo (t) di (S_0) rispetto ai binari e se chiamiamo (u) la velocità (costante) di questo moto avremo:

$$x = u \cdot t$$

la quale sostituita nella (2.4) ci restituisce:

$$u = u' \cdot \gamma^2 + v$$

siccome poi : $\gamma^2 = (1 - v^2/c^2)^{-1}$, avremo:

$$\boxed{u = u' \cdot (1 - v^2 / c^2)^{-1} + v} \quad (2.5)$$

Osserviamo che la (2.5) poteva essere ricavata, semplicemente invertendo la (3.1), dell'Appendice 3 di "Scusa Albert", che riporto a seguire, adeguandone le notazioni:

$$u' = (u - v) / (1 - v^2 / c^2)$$

la quale è stata ricavata sotto la stessa ipotesi di allineamento degli assi coordinati e (v) parallela all'asse ($O - x$).

Riportiamo per un confronto l'espressione analoga della (2.5), fornita dalla Relatività speciale:

$$u = (u' + v) / (1 + u' \cdot v / c^2) \quad (2.6)$$

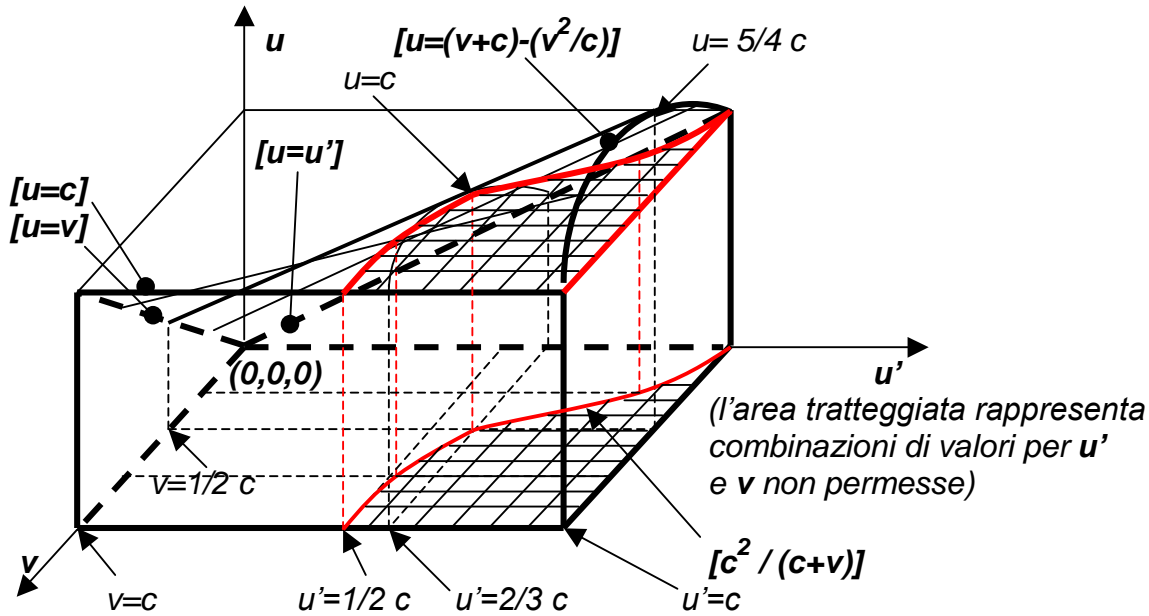
La (2.5) esprime la nuova regola per l'addizione delle velocità.

Mentre la (2.6) della Relatività speciale pone per (u) il limite superiore (c) per qualsiasi valore di (u' , $v \leq c$), la nostra (2.5) il limite (c) per la velocità (u), lo pone soltanto per i valori ($v=0$) e ($v=c$).

In generale per la nostra (2.5) nell'intervallo ($0 < v < c$) e ($0 < u' < c$) il valore di (u) può superare (c), ad esempio per ($v = 1/2 \cdot c$) abbiamo: ($u = c$) per ($u' = 2/3 \cdot c$) e ($u = 5/4 \cdot c$) per ($u' = c$), come possiamo vedere sul grafico che si ottiene dalla funzione:

$$u = f(u', v) = u' \cdot (1 - v^2 / c^2) + v$$

nell'intervallo di valori: $0 \leq u' \leq c$, $0 \leq v < c$



La $[u = f(u', v)]$ risulta rappresentata da una superficie delimitata dalle quattro curve:

$[u = v]$	per	$u' = 0$
$[u = u']$	per	$v = 0$
$[u = c]$	per	$v = c$
$[u = (v + c) - (v^2 / c)]$	per	$u' = c$

Ricordiamo che tutte le considerazioni precedenti, sono state ricavate sotto l'ipotesi che la velocità (u) sia misurata nel sistema privilegiato (S_0) considerato a riposo nell'etere e più avanti, dopo aver sviluppato le conseguenze dinamiche, derivanti l'applicazione delle "Trasformazioni inerziali", vedremo che questa superficie, sarà tagliata superiormente dal piano $[u = c]$, il quale come una sorta di cappello, escluderà valori per (u) maggiori di (c), ritrovando il risultato previsto dalla Relatività speciale, il quale prevede che i corpi materiali, non possono superare la velocità (c) della luce, misurata nel loro sistema di riferimento inerziale.

In virtù di questo, la curva intersezione della $[u = f(u', v)]$, col piano $[u = g(u', v) = c]$, proiettata sul piano (u', v), assieme alle rette ($u' = c$) e ($v = c$) delimita un'area, entro la quale cadono combinazioni di valori (u', v) non permessi dal nuovo paradigma per le velocità dei corpi materiali.

Questa curva è definita dalla seguente espressione: $u' = c^2 / (c+v)$ con ($v \neq c$) e nel piano (u', v), passa per i seguenti punti:

$$u' = c \text{ per } v=0 ; u' = 4/5 c \text{ per } v = 1/4 c ; u' = 2/3 c \text{ per } v=1/2 c$$

$$u' = 4/7 c \text{ per } v = 3/4 c \text{ e } u' = c/2 \text{ al limite per } [v \rightarrow c].$$

Terza parte - La relatività-inerziale con l'ausilio dei tetravettori

Una matrice colonna come la seguente:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}$$

può essere intesa come un multivettore nello spazio (S_n) la cui ampiezza o modulo sarà:

$$|\mathbf{V}| = (V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2)^{1/2}$$

Se limitiamo le nostre considerazioni al sistema di riferimento (S_0) a riposo nell'etere, possiamo porre:

$$x_1 = x_0; \quad x_2 = y_0; \quad x_3 = z_0; \quad x_4 = i \cdot c \cdot t_0 \quad (3.1)$$

con: $i = (-1)^{1/2}$ e scrivere:

$$ds_i^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2 \quad (3.2)$$

questo intervallo preso su (S_0), si può ottenere per ogni sistema di riferimento inerziale (i esimo), applicando la:

$$ds_i^2 = dx_i^2 + dy_i^2 + dz_i^2 - [(v_i / c) \cdot dx_i - c \cdot dt_i]^2 \quad (3.3)$$

che come abbiamo dimostrato, nell'Appendice 4 di "Scusa Albert", è invariante per "Trasformazioni inerziali".

Dal punto di vista analitico:

$$d\mathbf{P}_i = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dx_2 \\ dx_3 \\ dx_4 \end{bmatrix}$$

è un tetravettore nello spazio-tempo di Minkowski.

Le trasformazioni inerziali, con la nuova scelta di coordinate diventano:

$$x_1' = (1/\gamma) \cdot x_1 - (v/i.c.\gamma) \cdot x_4; \quad x_2' = x_2; \quad x_3' = x_3; \quad x_4' = \gamma \cdot x_4 \quad (3.4)$$

$$x_1 = \gamma \cdot x_1' + (v/i.c.\gamma) \cdot x_4'; \quad x_2 = x_2'; \quad x_3 = x_3'; \quad x_4 = (1/\gamma) \cdot x_4' \quad (3.5)$$

dove: $[\gamma = (1 - v^2/c^2)^{1/2}]$ e la velocità (v) è sempre relativa al sistema di riferimento (S_0) a riposo nell'etere.

Verifichiamo per conferma delle posizioni fatte nelle (3.4) e (3.5), che la (3.3) sostituendovi le "Trasformazioni inerziali", espresse nelle nuove coordinate ci conduca di nuovo alla (3.2).

Allo scopo differenziamo le nuove trasformazioni (3.4) e (3.5):

$$dx_1' = (1/\gamma) \cdot dx_1 - (v/i.c.\gamma) \cdot dx_4 ; \quad dx_2' = dx_2 ; \quad dx_3' = dx_3 ; \quad dx_4' = \gamma \cdot dx_4 \quad (3.6)$$

Riscriviamo la (3.3) dove poniamo le equivalenze:

$$dx_1' = dx_i ; \quad dx_2' = dy_i ; \quad dx_3' = dz_i ; \quad dt_i' = dx_4' / (i \cdot c)$$

ottenendo:

$$ds_i'^2 = dx_1'^2 + dx_2'^2 + dx_3'^2 - [(v_i/c) \cdot dx_1' - dx_4'/i]^2$$

$$ds_i'^2 = dx_1'^2 + dx_2'^2 + dx_3'^2 - (v_i^2/c^2) \cdot dx_1'^2 - dx_4'^2/i^2 + 2 \cdot (v_i/i.c) \cdot dx_1' \cdot dx_4'$$

$$ds_i'^2 = (1 - v_i^2/c^2) \cdot dx_1'^2 + dx_2'^2 + dx_3'^2 + 2 \cdot (v_i/i.c) \cdot dx_1' \cdot dx_4' - dx_4'^2/i^2$$

e ricordando che:

$$(1 - v_i^2/c^2) = \gamma_i^2 \quad \text{e} \quad i^2 = [(-1)^{1/2}]^2 = -1$$

avremo:

$$ds_i'^2 = \gamma_i^2 \cdot dx_1'^2 + dx_2'^2 + dx_3'^2 + dx_4'^2 + 2 \cdot (v_i/i.c) \cdot dx_1' \cdot dx_4'$$

nella quale andiamo a sostituire i differenziali (3.6) delle trasformazioni inerziali, espressi nelle nuove coordinate spazio-temporali:

$$ds_i'^2 = \gamma_i^2 \cdot [(1/\gamma_i) \cdot dx_1 - (v_i/i.c.\gamma_i) \cdot dx_4]^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + \gamma_i^2 \cdot dx_4^2 + \\ + 2 \cdot (v_i/i.c) \cdot [(1/\gamma_i) \cdot dx_1 - (v_i/i.c.\gamma_i) \cdot dx_4] \cdot \gamma_i \cdot dx_4$$

$$ds_i'^2 = dx_1^2 - v_i^2/c^2 \cdot dx_4^2 - 2 \cdot (v_i/i.c) \cdot dx_1 \cdot dx_4 + dx_2^2 + dx_3^2 + \gamma_i^2 \cdot dx_4^2 + \\ + 2 \cdot (v_i/i.c) \cdot dx_1 \cdot dx_4 + 2 \cdot (v_i^2/c^2) \cdot dx_4^2$$

$$ds_i'^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + [\gamma_i^2 + (v_i^2/c^2)] \cdot dx_4^2$$

siccome poi:

$$[Y_i^2 + (v_i^2 / c^2)] = [1 - (v_i^2 / c^2) + (v_i^2 / c^2)] = 1$$

ritroviamo finalmente la (3.2):

$$ds_i^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2 \quad (3.2)$$

come volevamo dimostrare.

Fatte queste premesse, osserviamo che le trasformazioni (3.4) e (3.5) sono trasformazioni lineari e la (3.5) la possiamo ad esempio scrivere così:

$$x_i = \sum_{k=1}^4 a_{ik} \cdot x_k \quad [\text{con } i = 1,2,3,4] \quad (3.7)$$

lo spostamento (ds_i) espresso dalla (3.2) lo possiamo associare al tetravettore dello spazio-tempo $d\mathbf{P}$ di ampiezza elementare:

$$d\mathbf{P} = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dx_2 \\ dx_3 \\ dx_4 \end{bmatrix}$$

Nello spazio euclideo tridimensionale abbiamo lo spostamento elementare:

$$dP = \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix}$$

Allora siccome vi è uno spostamento nello spazio-tempo ($d\mathbf{P}$), in corrispondenza ad uno spostamento (dP) nello spazio euclideo, siamo indotti per analogia a far corrispondere ad ogni vettore:

$$V = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}$$

nello spazio euclideo, un opportuno tetravettore :

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

le cui prime tre componenti saranno reali e proporzionali rispettivamente a (V_x), (V_y), (V_z), mentre la quarta componente, da scegliersi convenientemente, sarà immaginaria e le

componenti di tali tetravettori, al variare del riferimento debbono variare seguendo la legge (3.7), pertanto:

$$V_i = \sum_{k=1}^4 a_{ik} \cdot V_k' \quad (3.9)$$

essendo la matrice $[a_{ik}]$ da determinare, col metodo che segue.

Riscriviamo i differenziali delle trasformazioni inerziali nelle coordinate (x, y, z, t) dello spazio euclideo:

$$dx' = 1/\gamma \cdot (dx - v \cdot dt); \quad dy' = dy; \quad dz' = dz; \quad dt' = \gamma \cdot dt \quad (3.10)$$

$$dx = \gamma \cdot dx' + (v/\gamma) \cdot dt'; \quad dy = dy'; \quad dz = dz'; \quad dt = 1/\gamma \cdot dt' \quad (3.11)$$

poiché: $x_1 = x$; $x_2 = y$; $x_3 = z$; $x_4 = i \cdot c \cdot t$

le precedenti (3.10) e (3.11), nello spazio-tempo diventano:

$$dx_1' = 1/\gamma \cdot dx_1 + (i \cdot v/\gamma \cdot c) \cdot dx_4; \quad dx_2' = dx_2; \quad dx_3' = dx_3; \quad dx_4' = \gamma \cdot dx_4 \quad (3.12)$$

$$dx_1 = \gamma \cdot dx_1' - (i \cdot v/\gamma \cdot c) \cdot dx_4'; \quad dx_2 = dx_2'; \quad dx_3 = dx_3'; \quad dx_4 = 1/\gamma \cdot dx_4' \quad (3.13)$$

ottenute queste formule di trasformazione possiamo ora costruire la matrice $[a_{ik}]$.

Osserviamo che la (3.9) risulta così particolarizzata:

$$dx_i = \sum_{k=1}^4 a_{ik} \cdot dx_k' \quad (3.14)$$

così avremo:

$$dx_1 = a_{11} \cdot dx_1' + a_{12} \cdot dx_2' + a_{13} \cdot dx_3' + a_{14} \cdot dx_4'$$

e per le (3.13):

$$a_{11} = \gamma \quad a_{12} = a_{13} = 0 \quad a_{14} = -i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma)$$

inoltre:

$$dx_2 = a_{21} \cdot dx_1' + a_{22} \cdot dx_2' + a_{23} \cdot dx_3' + a_{24} \cdot dx_4'$$

per cui:

$$a_{21} = a_{23} = a_{24} = 0 \quad a_{22} = 1$$

ancora:

$$dx_3 = a_{31} \cdot dx_1' + a_{32} \cdot dx_2' + a_{33} \cdot dx_3' + a_{34} \cdot dx_4'$$

per cui :

$$a_{31} = a_{32} = a_{34} = 0 \quad a_{33} = 1$$

infine:

$$dx_4 = a_{41} \cdot dx_1' + a_{42} \cdot dx_2' + a_{43} \cdot dx_3' + a_{44} \cdot dx_4'$$

per cui :

$$a_{41} = a_{42} = a_{43} = 0 \quad a_{44} = 1/\gamma$$

La matrice cercata è quindi la seguente:

$$[a_{ik}] = \begin{bmatrix} \gamma & 0 & 0 & -i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\gamma \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

dove: $[\gamma = (1 - v^2/c^2)^{1/2}]$

Ripetiamo il ragionamento per la trasformazione inversa:

$$dx_i' = \sum_{k=1}^4 \alpha_{ik} \cdot dx_k \quad (3.16)$$

$$dx_1' = \alpha_{11} \cdot dx_1 + \alpha_{12} \cdot dx_2 + \alpha_{13} \cdot dx_3 + \alpha_{14} \cdot dx_4$$

e per la (3.12):

$$\alpha_{11} = 1/\gamma \quad \alpha_{12} = \alpha_{13} = 0 \quad \alpha_{14} = i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma)$$

$$dx_2' = \alpha_{21} \cdot dx_1 + \alpha_{22} \cdot dx_2 + \alpha_{23} \cdot dx_3 + \alpha_{24} \cdot dx_4$$

$$\alpha_{21} = \alpha_{23} = \alpha_{24} = 0 \quad \alpha_{22} = 1$$

$$dx_3' = \alpha_{31} \cdot dx_1 + \alpha_{32} \cdot dx_2 + \alpha_{33} \cdot dx_3 + \alpha_{34} \cdot dx_4$$

$$\alpha_{31} = \alpha_{32} = \alpha_{34} = 0 \quad \alpha_{33} = 1$$

$$dx_4' = \alpha_{41} \cdot dx_1 + \alpha_{42} \cdot dx_2 + \alpha_{43} \cdot dx_3 + \alpha_{44} \cdot dx_4$$

$$\alpha_{41} = \alpha_{42} = \alpha_{43} = 0 \quad \alpha_{44} = \gamma$$

quindi la matrice per la trasformazione inversa $[\alpha_{ik}]$ sarà:

$$[\alpha_{ik}] = \begin{bmatrix} 1/\gamma & 0 & 0 & i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

dove, come solito: $[\gamma = (1 - v^2/c^2)^{1/2}]$.

Riportiamo per confronto le analoghe matrici della Relatività ristretta, le quali con le nostre notazioni diventano:

$$[a_{ik}] = \begin{bmatrix} 1/\gamma & 0 & 0 & -i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma) & 0 & 0 & 1/\gamma \end{bmatrix}$$

$$[\alpha_{ik}] = \begin{bmatrix} 1/\gamma & 0 & 0 & i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma) & 0 & 0 & 1/\gamma \end{bmatrix}$$

Quarta parte - Le nuove leggi della meccanica relativistico-inerziale

Ricaviamo le leggi della meccanica applicando il paradigma delle “Trasformazioni inerziali”, naturalmente dovremo anche noi come per la relatività Einsteniana ritrovare i risultati classici, quando le velocità considerate (v), sono trascurabili in confronto della velocità della luce (c), ritrovandoli come limite di queste per ($v \ll c$).

Avendo introdotto, l'impiego dei tetravettori, iniziamo dalla grandezza meccanica “quantità di moto” di un dato punto-massa (m).

Cerchiamo allora un tetravettore (\mathbf{Q}) le cui prime tre componenti si identificano con le seguenti ordinarie componenti (secondo gli assi x, y, z):

$$Q_1 = m \cdot u_x \quad ; \quad Q_2 = m \cdot u_y \quad ; \quad Q_3 = m \cdot u_z$$

Per il punto-massa (m) considerato nel sistema di riferimento inerziale (S_0) a riposo nell'etere, avremo nelle coordinate, le seguenti corrispondenze ($x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z, x_4 = i.c.t$) ed in più (u_x, u_y, u_z) le componenti della velocità secondo i tre assi spaziali.

Allora il tetravettore (\mathbf{Q}) sarà indicato con la notazione:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \end{bmatrix}$$

nella quale (Q_4) è incognita da determinarsi.

Rispetto ad un generico sistema di riferimento inerziale (S_i), lo stesso tetravettore (\mathbf{Q}) sarà rappresentato dalle componenti:

$$Q_1' = m' \cdot u_x' \quad ; \quad Q_2' = m' \cdot u_y' \quad ; \quad Q_3' = m' \cdot u_z' \quad ; \quad Q_4'$$

pertanto si scriverà :

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} m \cdot u_x \\ m \cdot u_y \\ m \cdot u_z \\ Q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m' \cdot u_x' \\ m' \cdot u_y' \\ m' \cdot u_z' \\ Q_4' \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

mentre il legame fra le componenti (Q_i) e (Q_i') è dato dalle consuete relazioni [analoghe alla (3.7)]:

$$Q_i = \sum_{k=1}^4 a_{ik} \cdot Q_k' \quad [\text{con } i = 1,2,3,4] \quad (4.2)$$

dato che (S_i) si muove, rispetto ad (S_0) , con velocità (v) secondo la configurazione tipica, la matrice $[a_{ik}]$ è quella calcolata nel capitolo precedente.

La (4.2) risulta quindi così particolarizzata:

$$\begin{aligned} Q_1 &= a_{11} \cdot Q_1' + a_{14} \cdot Q_4' = \gamma \cdot Q_1' - i \cdot (v/c) \cdot (1/\gamma) \cdot Q_4' \\ Q_2 &= a_{22} \cdot Q_2' = Q_2' \\ Q_3 &= a_{33} \cdot Q_3' = Q_3' \\ Q_4 &= a_{44} \cdot Q_4' = (1/\gamma) \cdot Q_4' \end{aligned} \tag{4.3}$$

Dall' Appendice 3 di "Scusa Albert", riprendiamo le trasformazioni inerziali delle velocità:

$$V_x' = (V_x - v) / (1 - v^2/c^2) \quad ; \quad V_y' = V_y / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \quad ; \quad V_z' = V_z / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

le quali con le notazioni di questo capitolo si trasformano nelle:

$$u_x' = (u_x - v) / \gamma^2 \quad ; \quad u_y' = u_y / \gamma \quad ; \quad u_z' = u_z / \gamma \tag{4.4}$$

e le (Q_i') diventano:

$$\begin{aligned} Q_1' &= m' \cdot u_x' = m' \cdot (u_x - v) / \gamma^2 \\ Q_2' &= m' \cdot u_y' = m' \cdot u_y / \gamma \\ Q_3' &= m' \cdot u_z' = m' \cdot u_z / \gamma \\ Q_4' &= \gamma \cdot Q_4 \end{aligned} \tag{4.5}$$

sostituiamo ora le (4.5) nelle (4.3):

$$\begin{aligned} Q_1 &= m \cdot u_x = m' \cdot (1/\gamma) \cdot u_x - m' \cdot (1/\gamma) \cdot v - i \cdot (v/c) \cdot Q_4 \\ Q_2 &= m \cdot u_y = m' \cdot (1/\gamma) \cdot u_y \\ Q_3 &= m \cdot u_z = m' \cdot (1/\gamma) \cdot u_z \\ Q_4 &= Q_4 \end{aligned} \tag{4.6}$$

L'esame delle (4.6) ci porta a concludere, che l'equivalenza tra i primi ed i secondi membri si ottiene per:

$$Q_4 = i \cdot m' \cdot c \cdot (1/\gamma) \tag{4.7}$$

e per:

$$m' = m \cdot \gamma \quad (4.8)$$

Apriamo una parentesi per andare a ricavare le nuove conseguenze sulla variazione cinetica della massa (m).

La seconda delle (4.1) porge:

$$m \cdot u_y = m' \cdot u_y' \quad (4.9)$$

e dati i consueti sistemi di riferimento inerziali (S_0) ed (S_i), invertendo le (4.4) otteniamo:

$$u_x = u_x' \cdot \gamma^2 + v ; \quad u_y = u_y' \cdot \gamma ; \quad u_z = u_z' \cdot \gamma \quad (4.10)$$

che riscriviamo in questa forma:

$$\left. \begin{aligned} u_x / c &= (u_x' / c) \cdot \gamma^2 + (v/c) \\ u_y / c &= (u_y' / c) \cdot \gamma \\ u_z / c &= (u_z' / c) \cdot \gamma \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

Ovviamente valgono le formule:

$$u^2 = u_x^2 + u_y^2 + u_z^2 ; \quad u'^2 = u_x'^2 + u_y'^2 + u_z'^2 \quad (4.12)$$

Nota: ti avverto che sino alla fine del presente paragrafo, dove necessario, abbandono il tipo di notazione utilizzato sinora a favore della notazione più classica; la quale rendendo le espressioni più compatte, facilita il seguire lo sviluppo delle dimostrazioni.

Ritorniamo alle (4.11), eleviamole al quadrato e sommiamo membro a membro, tenendo conto delle (4.12). Avremo:

$$\frac{u^2}{c^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \left[u_x' \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) + v \right]^2 + \frac{1}{c^2} \cdot u_y'^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) + \frac{1}{c^2} \cdot u_z'^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$\frac{u^2}{c^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \left[u_x'^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^2 + v^2 + 2 \cdot v \cdot u_x' \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) + u_y'^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) + u_z'^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \right]$$

$$\frac{u^2}{c^2} = \frac{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{c^2} \cdot \left[u_x'^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) + \frac{v^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} + 2 \cdot v \cdot u_x' + u_y'^2 + u_z'^2 \right]$$

$$\frac{u^2}{c^2} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \left[\frac{u_x'^2}{c^2} - \frac{u_x'^2}{c^2} \cdot \frac{v^2}{c^2} + \frac{v^2}{(c^2 - v^2)} + 2 \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{u_x'}{c} + \frac{u_y'^2}{c^2} + \frac{u_z'^2}{c^2} \right] \quad (4.13)$$

siccome poi: $\frac{u_x'^2}{c^2} + \frac{u_y'^2}{c^2} + \frac{u_z'^2}{c^2} = \frac{u'^2}{c^2}$; sostituendo nella (4.13) otteniamo :

$$\frac{u^2}{c^2} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \left(\frac{u'^2}{c^2} - \frac{u_x'^2}{c^2} \cdot \frac{v^2}{c^2} + \frac{v^2}{c^2 - v^2} + 2 \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{u_x'}{c} \right)$$

$$\frac{u^2}{c^2} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \frac{u'^2}{c^2} + \frac{v^2}{c^2} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \frac{u_x'^2}{c^2} \cdot \frac{v^2}{c^2} + \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot 2 \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{u_x'}{c}$$

Ora calcoliamo $(1 - u^2/c^2)$; dalla precedente risulta:

$$1 - \frac{u^2}{c^2} = 1 - \frac{v^2}{c^2} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \frac{u'^2}{c^2} + \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \frac{u_x'^2}{c^2} \cdot \frac{v^2}{c^2} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot 2 \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{u_x'}{c}$$

$$1 - \frac{u^2}{c^2} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{u'^2}{c^2} + \frac{u_x'^2}{c^2} \cdot \frac{v^2}{c^2} - 2 \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{u_x'}{c}\right) \quad (4.14)$$

La (4.14) può essere riscritta nella forma seguente :

$$1 - \frac{u^2}{c^2} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \left[\left(1 - \frac{u_x' \cdot v}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2} \right] \quad (4.15)$$

ed estraendo la radice quadrata avremo :

$$\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\left(1 - \frac{u_x' \cdot v}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

da cui :

$$\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left[\left(1 - \frac{u_x' \cdot v}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4.16)$$

sostituendo la (4.16) nella (4.8) otteniamo :

$$m' = m \cdot \frac{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left[\left(1 - \frac{u_x \cdot v}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2}\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4.17)$$

Osserviamo che per $(v=0)$, [cioè nel sistema di riferimento (S_0) a riposo nell'etere] la (4.17) porge:

$$m \cdot [1 - (u^2/c^2)]^{1/2} = m' \cdot [1 - (u'^2/c^2)]^{1/2} \quad (4.18)$$

cioè il risultato della Relatività ristretta, dal quale Einstein dedusse l'invarianza della quantità:

$$m^* \cdot [1 - (u^{*2}/c^2)]^{1/2}$$

per giungere alla nota :

$$m = m_0 \cdot [1 - (u^{*2}/c^2)]^{-1/2} \quad (4.19)$$

la quale per noi rappresenta il caso particolare $(v=0)$ dell'espressione più generale:

$$m = m_0 \cdot [(1 - u_x \cdot v / c^2)^2 - (u^2 / c^2)]^{-1/2} \quad (4.20)$$

la quale tiene in conto anche il termine $(1 - u_x \cdot v / c^2)$ funzione delle componenti (v) e (u_x) relative allo stato di moto del sistema di riferimento (S_i) e della particella di massa (m) , nei confronti del sistema privilegiato (S_0) a riposo nell'etere.

Il termine $(u_x \cdot v)$ per le convenzioni utilizzate nel ricavare le trasformazioni inerziali (configurazione normale), altri non è che il prodotto scalare $(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$ [dove col carattere in grassetto vogliamo indicare i due vettori (\mathbf{u}) e (\mathbf{v})] e ponendo:

$$\gamma_m = [(1 - \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} / c^2)^2 - (u^2 / c^2)]^{1/2} \quad (4.21)$$

la (4.20) porge :

$$m = m_0 / \gamma_m \quad (4.22)$$

Possiamo a questo punto completare la definizione del tetravettore (Q) delle (4.1) con la seguente matrice colonna:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} (m_0 / \gamma_m) \cdot u_x \\ (m_0 / \gamma_m) \cdot u_y \\ (m_0 / \gamma_m) \cdot u_z \\ (i. c. m_0) / \gamma_m \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

ed introdotta la quantità di moto relativistico-inerziale:

$$\mathbf{Q} = (m_0 / \gamma_m) \cdot \mathbf{u} \quad (4.24)$$

le cui componenti (Q_x, Q_y, Q_z) coincidono rispettivamente con le prime tre componenti del tetravettore (\mathbf{Q}), occorre osservare che l'esperienza conferma [almeno per quanto riguarda il caso particolare ($v=0$)] che la quantità di moto così definita, obbedisce alla regola di conservazione. Da quanto precede, siamo ora in grado di scrivere la 2a legge della dinamica relativistico inerziale. Essa diventa:

$$d/dt \cdot [(m_0 / \gamma_m) \cdot \mathbf{u}] = \mathbf{F} \quad (4.25)$$

ed essendo :

$$\lim_{u,v \rightarrow 0} \gamma_m = \lim_{u,v \rightarrow 0} [(1 - \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} / c^2)^2 - (u^2 / c^2)]^{1/2} = 1 \quad (4.26)$$

ritroviamo l'equazione fondamentale della dinamica Newtoniana:

$$m \cdot \mathbf{a} = \mathbf{F} \quad \text{a basse velocità} \quad (v, u \ll c).$$

Osserviamo anche che la (4.25) quando scritta in forma tetravettoriale è invariante relativamente alle "trasformazioni inerziali" e quindi valida in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Ci proponiamo ora di trovare la nuova forma dell'equivalenza massa – energia. Allo scopo, moltiplichiamo scalarmene per (\mathbf{u}) ambo i membri della (4.25), per ottenere:

$$m_0 \cdot \mathbf{u} \cdot \frac{d}{dt} \frac{\mathbf{u}}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{1/2}} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{u} \quad (4.27)$$

Conviene elaborare la (4.27) così: calcoliamo innanzitutto la derivata rispetto a (t):

$$\frac{d}{dt} \frac{\mathbf{u}}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} + \mathbf{u} \cdot \frac{(-1)}{2 \cdot \left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{3}{2}}} \cdot \left[2 \cdot \left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right) \cdot \left(-\frac{1}{c^2}\right) \cdot \left(\mathbf{v} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} + \mathbf{u} \cdot \frac{d\mathbf{v}}{dt}\right) - 2 \cdot \frac{\mathbf{u}}{c^2} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \right]$$

la quale essendo per i sistemi inerziali ($\mathbf{v}=\text{cost.}$) e quindi ($d\mathbf{v}/dt=0$) diventa:

$$\frac{d}{dt} \frac{\mathbf{u}}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{\mathbf{u}}{c^2} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right) \cdot \mathbf{v} + \mathbf{u}}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (4.28)$$

ottenuta considerando che $[(\mathbf{u} \cdot d\mathbf{u}/dt) = (\mathbf{u} \cdot d\mathbf{u}/dt)]$, come si ottiene derivando rispetto a (t) la:

$$u^2 = \mathbf{u} \cdot \mathbf{u}; \quad 2 \cdot \mathbf{u} \cdot (d\mathbf{u}/dt) = \mathbf{u} \cdot (d\mathbf{u}/dt) + (d\mathbf{u}/dt) \cdot \mathbf{u} = 2 \cdot \mathbf{u} \cdot (d\mathbf{u}/dt).$$

Moltiplichiamo ora scalarmente la (4.28) per (\mathbf{u}) e sostituiamo nella (4.27):

$$\mathbf{u} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}}{c^2} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right) \cdot \mathbf{v} + \mathbf{u}}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mathbf{F} \cdot \mathbf{u}}{m_0} \quad (4.29)$$

da cui :

$$\mathbf{u} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} \cdot \left[1 + \frac{\frac{\mathbf{u}}{c^2} \cdot \left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right) \cdot \mathbf{v} + \mathbf{u} \right]}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]} \right] = \frac{\mathbf{F} \cdot \mathbf{u}}{m_0} \quad (4.30)$$

osserviamo che :

$$\left[1 + \frac{\frac{\mathbf{u}}{c^2} \cdot \left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right) \cdot \mathbf{v} + \mathbf{u} \right]}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]} \right] = \frac{\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]}$$

la quale sostituita nella (4.30) ci restituisce:

$$m_0 \cdot \mathbf{u} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{3}{2}}} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{u} \quad (4.31)$$

Consideriamo ora la seguente derivata :

$$\frac{d}{dt} \frac{m_0 \cdot c^2}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{m_0 \cdot c^2 \cdot (-1) \cdot \left[2 \cdot \left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right) \cdot \left(-\frac{1}{c^2} \right) \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{u} \cdot \frac{d\mathbf{v}}{dt} - \frac{2 \cdot \mathbf{u}}{c^2} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \right]}{2 \cdot \left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{m_0 \cdot c^2}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{m_0 \cdot \mathbf{u} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt} \cdot \left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right) \cdot \mathbf{v} \cdot \frac{d\mathbf{v}}{dt} + 1 \right]}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{3}{2}}}$$

Siccome poi per i sistemi inerziali in esame ($\mathbf{v} = \text{cost.}$) e quindi ($d\mathbf{v}/dt = 0$) avremo:

$$\frac{d}{dt} \frac{m_0 \cdot c^2}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{m_0 \cdot \mathbf{u} \cdot \frac{d\mathbf{u}}{dt}}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (4.32)$$

La (4.32) sostituita nella (4.31) ci restituisce:

$$\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right) \cdot \frac{d}{dt} \frac{m_0 \cdot c^2}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{u} \quad (4.33)$$

e ricordando che :

$$m = \frac{m_0}{\left[\left(1 - \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{c^2} \right)^2 - \frac{u^2}{c^2} \right]^{\frac{1}{2}}};$$

la (4.33) porge

$$(1 - \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}/c^2) \cdot (d/dt) [(m \cdot c^2)] = \mathbf{F} \cdot \mathbf{u} \quad (4.34)$$

Essendo poi (c) una costante, la (4.34) può essere così riscritta:

$$(1 - \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}/c^2) \cdot c^2 \cdot (d/dt) m = \mathbf{F} \cdot \mathbf{u}$$

$$(c^2 - \mathbf{u} \cdot \mathbf{v}) \cdot (d/dt) m = \mathbf{F} \cdot \mathbf{u}$$

$$\boxed{c^2 \cdot (d/dt) m - \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} \cdot (d/dt) m = \mathbf{F} \cdot \mathbf{u}} \quad (4.35)$$

vediamo così che la potenza ($\mathbf{F} \cdot \mathbf{u}$) è composta di due termini:

$$c^2 \cdot (d/dt) m \quad \text{e} \quad |\mathbf{u}| \cdot |\mathbf{v}| \cdot \cos \theta \cdot (d/dt) m$$

dove (θ) è l'angolo tra i vettori (\mathbf{u}) e (\mathbf{v}).

La comparsa del termine ($|\mathbf{u}| \cdot |\mathbf{v}| \cdot \cos \theta \cdot (d/dt) m$) costituisce la differenza tra la nostra trattazione e la trattazione Einsteiniana, nella quale compare solo il termine [$c^2 \cdot (d/dt)m$].

A questo punto integriamo ambo i membri della (4.35) rispetto al tempo (t), a partire da un istante (t_0) in cui sia ($\mathbf{u} = 0$) e quindi anche ($m=m_0$):

$$c^2 \int_{t_0}^t \frac{d}{dt} \cdot m \cdot dt - |\mathbf{u}| \cdot |\mathbf{v}| \cdot \cos \theta \cdot \int_{t_0}^t \frac{d}{dt} \cdot m \cdot dt = \mathbf{F} \cdot \int_{t_0}^t \mathbf{u} \cdot dt$$

quindi:

$$(m - m_0) \cdot c^2 - |\mathbf{u}| \cdot |\mathbf{v}| \cdot \cos \theta \cdot (m - m_0) = L \quad (4.36)$$

dove con (L) abbiamo indicato il lavoro compiuto dalla forza (\mathbf{F}) nell'intervallo di tempo ($t - t_0$). All'espressione:

$$T = (m - m_0) \cdot (c^2 - |\mathbf{u}| \cdot |\mathbf{v}| \cdot \cos \theta) \quad (4.37)$$

dobbiamo dunque attribuire il significato di Energia cinetica del corpo.

Si deve perciò concludere che l'incremento di massa, rispetto al valore di riposo (m_0), è proporzionale all'energia cinetica acquisita per effetto del lavoro compiuto dalla forza (\mathbf{F}). Tale lavoro, ha provocato l'incremento della massa del corpo e viene così posta in luce l'equivalenza tra la massa e l'energia.

Osserviamo che la (4.37) nel sistema di riferimento (S_0) a riposo nell'etere ($\mathbf{v} = 0$), si trasforma nella:

$$T = (m - m_0) \cdot c^2 \quad (4.38)$$

cioè nella relazione ricavata a suo tempo da Einstein, la quale risulta così un caso particolare della più generale (4.37), valida in ogni sistema di riferimento inerziale generico (S_i).

Quinta parte - Nuovi limiti per le velocità dei corpi materiali e della luce

Analizziamo in funzione della trasformazione inerziale delle velocità e dell'espressione ricavata per la massa relativistico-inerziale, quali sono i valori di velocità (u_i) permessi per una particella di massa (m_i) nel generico sistema di riferimento inerziale ($O_i x_i y_i z_i t_i$), la cui origine (O_i) è in movimento alla velocità (v_i), lungo l'asse positivo ($O_0 - x_0$) del sistema di riferimento privilegiato ($O_0 x_0 y_0 z_0 t_0$) a riposo nell'etere.

Con queste notazioni e nel caso particolare dove la velocità (u_0) della particella è orientata come la (v_i), parallelamente agli assi ($O_0 - x_0$) e ($O_i - x_i$) (configurazione ordinaria), dalla trasformazione inerziale delle velocità avremo:

$$u_i = (u_0 - v_i) / (1 - v_i^2/c^2) \quad (5.1)$$

mentre l'espressione per la massa (m_i) porge:

$$m_i = m_0 / [(1 - \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{v}_i / c^2)^2 - (u_i^2 / c^2)]^{1/2} \quad (5.2)$$

La (5.1) per ($u_0 = c$, dove la particella si identifica con un fotone), ci restituisce:

$$u_i = (c - v_i) / (1 - v_i^2/c^2) = (c - v_i) / [(c^2 - v_i^2) / c^2] = [c^2 \cdot (c - v_i)] / [(c + v_i) \cdot (c - v_i)]$$

la quale per $[(c - v_i) \neq 0]$ e quindi ($v_i \neq c$) porge:

$$u_i = c^2 / (c + v_i)$$

dalla quale si evince che ($u_i = c$) solo nel caso particolare dove ($v_i = 0$) ed anche il sistema di riferimento ($O_i x_i y_i z_i t_i$) si trova a riposo nell'etere, in tutti gli altri casi (escluso il caso $v_i = c$) per (u_i), otteniamo:

$$u_i = c^2 / (c + v_i) \quad \text{e} \quad u_i = c^2 / (c - v_i)$$

a seconda che le velocità (u_0) e (v_i) siano parallele e concordi o antiparallele.

Le ultime due espressioni, ricordando che sono state ricavate per ($u_0 = c$), ci dicono che la velocità della luce (c_i) di sola andata, nel sistema di riferimento ($O_i x_i y_i z_i t_i$) può variare nel seguente intervallo:

$$c^2 / (c + v_i) \leq c_i \leq c^2 / (c - v_i)$$

ed osservando che:

$$\lim_{v_i \rightarrow c} c^2 / (c + v_i) = c/2 \quad ; \quad \lim_{v_i \rightarrow c} c^2 / (c - v_i) = \infty$$

avremo:

$$c/2 \leq c_i \leq \infty$$

Vediamo ora i limiti per la velocità dei corpi materiali. Allo scopo prendiamo in esame la (5.2) e ricerchiamo le condizioni per cui la stessa ci restituisce per la massa (m_i) valori reali e determinati. Queste condizioni, saranno espresse dalla:

$$(1 - \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{v}_i / c^2) > (u_i / c)$$

da cui:

$$(c^2 - \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{v}_i) / c^2 > (u_i / c)$$

$$(c^2 - \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{v}_i) > c \cdot u_i$$

e ricordando che: $\mathbf{u}_i \cdot \mathbf{v}_i = u_i \cdot v_i \cdot \cos \theta$
dei due vettori (\mathbf{u}_i) e (\mathbf{v}_i), avremo:

dove (θ) è l'angolo compreso tra le direzioni

$$c^2 - u_i \cdot v_i \cdot \cos \theta > c \cdot u_i$$

da cui:

$$u_i \cdot (c + v_i \cdot \cos \theta) < c^2$$

e:

$$u_i < c^2 / (c + v_i \cdot \cos \theta)$$

Ricordando che:

$$\cos 0 = 1 \quad ; \quad \cos \pi / 2 = 0 \quad ; \quad \cos \pi = -1$$

avremo:

$$u_i < c^2 / (c + v_i) \quad (\text{per } \theta = 0)$$

$$u_i < c \quad (\text{per } \theta = \pi / 2)$$

$$u_i < c^2 / (c - v_i) \quad (\text{per } \theta = \pi)$$

e passando al limite per ($v_i \rightarrow c$):

$$\lim_{v_i \rightarrow c} c^2 / (c + v_i) = c/2 \quad ; \quad \lim_{v_i \rightarrow c} c^2 / (c - v_i) = \infty$$

avremo che il limite superiore per la velocità di un corpo materiale sarà compreso nel seguente intervallo:

$$c/2 \leq u_i \leq \infty$$

Dal confronto tra le due trattazioni; la prima a partire dall'espressione (5.1) la seconda a partire dalla (5.2), si evince, come già prevede la relatività di Einstein, che i corpi materiali non possono raggiungere la velocità della luce (c_i) misurata nel loro sistema di riferimento inerziale.

La differenza sostanziale tra la nostra visione e la visione Einsteniana, risiede nella definizione del valore di (c_i):

$$c_i = c$$

in tutti i sistemi di riferimento inerziali per la relatività di Einstein

$$c_i = c^2 / (c + v_i \cdot \cos \theta)$$

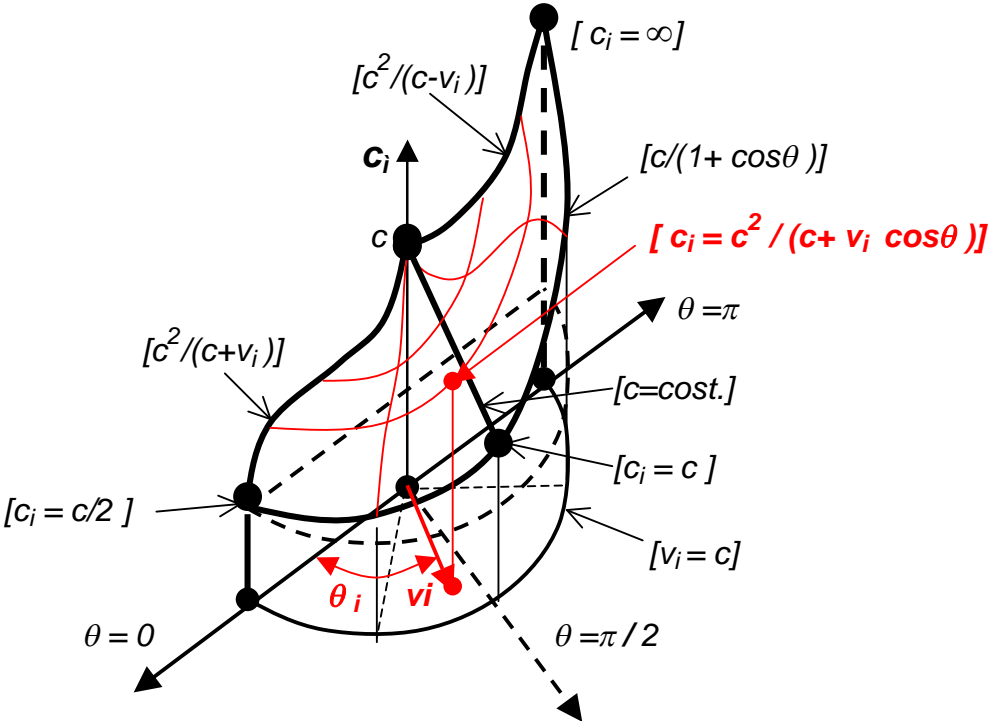
$$(0 \leq \theta \leq \pi)$$

nel nuovo paradigma della Relatività inerziale.

Vediamo ora di rappresentare con un grafico la nuova situazione, utilizzando un diagramma in coordinate cilindriche polari, per rappresentare la funzione:

$$c_i = f(\theta, v_i) = c^2 / (c + v_i \cdot \cos \theta)$$

ottenuta per ($u_0 = c$), la quale esprime come un generico osservatore inerziale (O_i) valuta la velocità si sola andata (c_i) di un raggio di luce che si propaga alla velocità ($c_0 = c$) nel sistema di riferimento inerziale (S_0) dell'osservatore privilegiato (O_0).



Considerazioni conclusive

In queste poche pagine, ho presentato l'embrione, ormai maturo, di una teoria che ha tutte le caratteristiche per poter prendere il posto della teoria Einsteniana, chiamata "Teoria della relatività speciale o ristretta".

Questa nuova teoria, che ho chiamato "Teoria della relatività inerziale", ha la capacità di spiegare il risultato di tutti gli esperimenti, che sono stati eseguiti a supporto della sua validità nel corso del secolo, che ci separa dalla sua presentazione nel 1905 e quindi non presenta, da questo punto di vista, elementi di novità.

La novità consiste, nel fatto che il suo quadro fondazionale, contiene soltanto elementi ricavati dal panorama empirico e non necessita della rinuncia, alle indicazioni del buon senso, per poter essere compresa a fondo; mentre la teoria di Einstein impone questa rinuncia.

Se ci fermassimo qui, si potrebbe concludere, che non vi era alcuna necessità di elaborare una nuova teoria, la quale tra l'altro, ha in generale una formulazione matematica più elaborata, della teoria esistente.

A questa maggior articolazione, nella formulazione matematica della nuova teoria, corrisponde il fatto notevole che i risultati della teoria di Einstein, si possono ricavare come casi particolari della nuova teoria; sono i casi dove il sistema di riferimento inerziale considerato a riposo, coincide col sistema di riferimento privilegiato immobile nell'etere, ipotizzato dalla nuova teoria.

Una delle caratteristiche che dovrebbe far preferire la nuova teoria, consiste nella capacità di spiegare in modo naturale, l'effetto Sagnac sulle piattaforme rotanti, con la corrispondente correzione, sulla marcia degli orologi posti a bordo dei satelliti del GPS (Global Positioning System), correzione che viene apportata come se questi si muovessero in un sistema di riferimento assoluto (per maggiori dettagli vedi "Lezioni di relatività" – da Einstein all'etere di Lorentz del prof. Franco Selleri edito dalla Progedit).

L'altra caratteristica, da non trascurare è che la nuova teoria, mette a disposizione il formalismo per affrontare problemi, dove il sistema di riferimento; preso come base, per la descrizione dei fenomeni fisici che vi avvengono, è in moto a velocità prossime a quella della luce; il quale a mio avviso, dovendo fare i conti con uno spazio vuoto dotato di proprietà fisiche, non può essere considerato equivalente a tutti gli altri sistemi di riferimento inerziali; come invece prevede la relatività speciale, col "Principio di relatività".

L'altro risultato notevole è una nuova più generale definizione "dell'intervallo invariante":

$$ds_i^2 = dx_i^2 + dy_i^2 + dz_i^2 - [(v_i / c) \cdot dx_i - c \cdot dt_i]^2$$

il quale ha in potenza, la forza per poter influire sui risultati della "Teoria generale della relatività", presentata sempre da Albert, nel 1916; laddove viene utilizzato come elemento di linea delle geodetiche nello Spazio-tempo di Minkowski.

Tengo a precisare, la sincera ammirazione con la quale guardo alla più generale teoria di Einstein, la quale col suo "Principio di equivalenza" e la richiesta di una descrizione covariante per le leggi della fisica, che sia indipendente dal sistema di coordinate prescelto; rappresenta forse il più grande balzo concettuale, portato a compimento nel ventesimo secolo, a giustificazione dell'elezione di Albert Einstein a figura rappresentativa dello stesso.

Di nuovo cordialmente vostro

Angelo Montorsi

La battaglia di Guthemberg

Come saprai Guthemberg fu l'inventore della stampa e quando, leggendo il libro di un altro eretico (<<Più veloce della luce – João Magueijo - Rizzoli>>), vi lessi le pene patite dallo stesso nel trovare una degna collocazione per la sua teoria, sul media cartaceo, ho scelto di adottare lo stesso titolo per descrivere le mie.

Devi sapere, sempre unico ed ormai affezionato lettore, che quando ho sottoposto lo "Scusa Albert" al primo editore, questi oltre a farmi notare che le pagine erano poche, (come ho scritto a pag.46, nella presentazione della "Teoria della relatività inerziale") mi chiese se riuscivo a procurarmi una prefazione autorevole.

Sul momento, risposi che non avevo intenzione di procurarmela: primo, perché chiederla al prof. Selleri, dopo tutti gli elogi profusi nel testo, non sarebbe stato di buon gusto (gli esempi di citazioni e prefazioni interessate, si sprecano nella letteratura scientifica e non); secondo, non avevo assolutamente idea di dove andare a parare, nel campo dei relativisti canonici, presagendo quanto meno, la più cocente delle stroncature e qualche tempo dopo ricevetti dall'editore la seguente risposta:

<< Gent. Sig. Montorsi, come da accordi abbiamo sottoposto ai nostri distributori il progetto del suo libro per un giudizio sulla possibilità di diffusione sul mercato editoriale. Purtroppo gli interpellati non sono favorevoli all'idea di vendere l'opera nelle librerie. Siamo spiacenti di deludere la sua aspettativa di fare del libro una operazione commerciale. Se però desidera pubblicare il lavoro per farlo conoscere, perché sia possibile reperirlo nelle Biblioteche nazionali, per l'inserimento nell' I.S.B.N., per la salvaguardia del diritto d'autore, la nostra casa editrice è disponibile a stamparlo e a provvedere a quanto sopra se lei è disposto a coprire i costi di stampa ed editoriali (circa € 2500,00 in totale). La consigliamo comunque di interpellare anche altri editori e rimaniamo a sua disposizione per eventuali accordi. Cordialità. >>

Digerita la sentenza, mi sono detto: "Qua Angelo la faccenda si fa dura, se vuoi un giorno vedere questo scritto su qualche scaffale di libreria, bisogna che ti metti sotto ed aggiungi altro materiale; poi lascia da parte l'orgoglio e vai alla ricerca di una raccomandazione autorevole".

In quel momento non avevo assolutamente idea che sarei riuscito, quasi senza volerlo a mettermi in contatto col prof. Silvio Bergia, docente di relatività all'Università di Bologna e considerato uno dei massimi esperti in materia.

Ho iniziato quindi la stesura di quella che ho poi chiamato: "Teoria della relatività inerziale" riuscendo ad ottenere, con un approccio che ritengo originale, alcune conseguenze che aveva già tratto il prof. Selleri: un nuovo teorema di addizione delle velocità; la conservazione della quantità di moto relativistico-inerziale in forma tetravettoriale; l'equivalenza massa-energia in una forma generale, dalla quale si deduce la forma canonica, come caso particolare e l'indicazione di nuovi limiti per la velocità dei corpi ponderali e della luce, in sistemi di riferimento inerziali generici.

L'approccio seguito è stato quello di seguire il trattato canonico: "Relatività ed astrodinamica" di Vittorio Banfi, sostituendovi le "Trasformazioni di Lorentz" con le "Trasformazioni inerziali" e

l'intervallo invariante canonico, con la nuova definizione più generale dello stesso; utilizzando poi i risultati del "Lezioni di relatività" di Franco Selleri, come verifica dei risultati ottenuti.

Questa elaborazione oltre a donarmi nuove consapevolezze, mi ha portato alla redazione di due grafici relativi ai nuovi limiti per le velocità: della luce e dei corpi ponderali, che ritengo originali, i quali uniti alla nuova definizione più generale dell'intervallo invariante (già ricavato in precedenza), credo rappresentino i miei unici veri contributi originali, alla causa delle "Trasformazioni inerziali", portata avanti già da tempo dal prof. Franco Selleri.

Assolta la prima parte del compito che mi ero dato, cioè l'ampliamento dello scritto, mi dedicai alla seconda parte, la quale consisteva nel trovare un esperto di relatività disposto a stendere una prefazione per lo "Scusa Albert", che ne potesse favorire la pubblicazione, anziché la demolizione.

Mi ricordai che circa un anno prima, durante le peregrinazioni legate alla mia attività di astrofilo, avevo conosciuto un personaggio straordinario; si tratta di Romano Serra, il direttore dell'Osservatorio astronomico di S. Giovanni in Persiceto (BO), il quale è dedito ad una intensa attività divulgativa, la quale (con l'ausilio di un planetario e di una delle più belle raccolte di meteoriti che io abbia mai visto) assorbe ogni momento del suo tempo libero.

Poco tempo prima, avevo letto su di una rivista di astronomia, che Serra lavora presso il dipartimento di fisica dell' INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) dell'Università di Bologna ed in una fredda mattina di una domenica di Gennaio del 2005, andai a fare un giretto a S. Giovanni in Persiceto, con la segreta speranza di trovare Romano Serra all'opera.

Trovai Romano che armeggiava con il sensore di fine corsa, della porticina di accesso alla cupola dell'osservatorio e dopo essermi qualificato ed aver atteso il momento propizio, gli ho chiesto se poteva dare un'occhiata al mio scritto, cercando di spiegargli di cosa si trattasse; al che lui mi disse:<< Guarda che a parlare con me di queste cose, non parli con nessuno, se vieni all'Istituto di Fisica ti faccio parlare col mio amico Silvio Bergia e vedrai che lui ti può dare soddisfazione>>.

Sapevo che il prof. Bergia doveva essere un noto relativista, avevo letto una sua citazione, negli scritti di Selleri e sfacciato per sfacciato, chiesi a Romano se poteva allungare una copia di "Scusa Albert" al suo amico professore; lui accettò di buon grado e dopo esserci scambiati i riferimenti telefonici e di posta elettronica, ci salutammo, col proposito di risentirci all'indomani.

Mentre rientravo, stentai a credere che sarei riuscito a parlare di relatività con un Relativista con la "R" maiuscola e nel pomeriggio feci una piccola ricerca su Internet, iniziando a rendermi pienamente conto, di chi fosse il prof. Silvio Bergia e se da un lato ero contento, dall'altro sentivo montare l'ansia per un incontro, che presagivo potesse tramutarsi in un notevole stress, vuoi per la enorme differenza di statura Fisica (non in senso corporeo ma intellettuale), vuoi perché il mio scritto era un chiaro attacco alla visione relativistica insegnata dal professore.

Ad ogni buon conto acquistai i volumi 1 e 2 della sua opera "Le strutture dello spaziotempo" scritta in collaborazione con Alessandro Paolo Franco (CLU EB) ed il suo libro "Dialogo sul sistema dell'Universo" (McGraw - Hill) e mi dedicai alla loro intensa lettura, cercando così di prepararmi degnamente all'incontro.

Lo studio del primo volume del "Le strutture dello spaziotempo", il quale tratta di "Relatività ristretta con elementi di relatività generale", mi riservò la sorpresa di trovare al paragrafo (3.8) "L'ampliamento di Selleri" dove, dopo aver riconosciuto i meriti dello stesso:

[L'estensione di Selleri ha, in generale, il merito di rendere evidente quanto le conoscenze sperimentali dure ci dicono – e quanto non ci dicono – sulla forma delle trasformazioni di coordinate fra un ipotizzato sistema privilegiato e gli altri sistemi inerziali.],

il prof. Bergia; dal funzionamento del sistema orario mondiale e del GPS (Global Positioning System) trae gli argomenti, per invalidare le conclusioni di Selleri e per rafforzare la visione canonica.

Alla fine poi del paragrafo (1.6), nel quale vengono esaminate le “Possibili interpretazioni dell'esito negativo dell'esperimento” (di Michelson e Morley), a pag.34 lessi:

[E' interessante osservare che la spiegazione dell'esito nullo dell'esperimento di Michelson e Morley sulla base della contrazione di Lorentz è confutabile sulla base di un esperimento effettuato con un interferometro a bracci di diversa lunghezza (N.d.A anche questo con esito negativo).]

Puoi immaginare a questo punto, quale fosse il mio stato d'animo:<< Se Bergia ha ragione, posso cestinare tranquillamente il mio scritto e darmi al giardinaggio, che tanto la fisica non ha bisogno, ne di me ne di Selleri >>; infatti queste conclusioni del prof. Bergia non lasciano spazio alcuno (nemmeno il dubbio) alla visione presentata nel mio scritto, la quale è in sintonia con la visione di Selleri.

Passato lo scoramento iniziale, ho per prima cosa verificato se l'ipotesi della contrazione di Lorentz per la spiegazione degli esperimenti alla Michelson e Morley condotti con bracci di lunghezza diversa, era veramente confutabile e con mia sorpresa e soddisfazione ho ricavato una dimostrazione semplicissima la quale rende la spiegazione consistente; però se devo dire la verità, sulla facilità con la quale ci ero arrivato, aleggiava il dubbio di aver commesso un errore, dubbio che poi si è pienamente dissolto vista la semplicità e linearità della dimostrazione.

Diversa si è presentata la questione, quando andai a verificare le conclusioni che il prof. Bergia aveva tratto dal funzionamento del sistema orario mondiale e del GPS; conclusioni che affermano l'isotropia sulla velocità di onde radio sulla terra, in percorsi di sola andata.

In un primo momento, per quanto attiene il funzionamento del sistema orario mondiale, trovai le argomentazioni del “Le strutture dello spaziotempo” ineccepibili (e non nascondo la delusione provata); poi il risveglio da un sonno agitato, iniziato mentre ponderavo la questione, mi regalò la soluzione.

Le stazioni del sistema orario mondiale, prese come esempio nel testo, distavano 9000 Km e quindi non si può assolutamente parlare di segnali che hanno seguito percorsi di sola andata; un esame dei meccanismi di propagazione delle onde radio su lunghe distanze, mi ha fatto concludere che si tratta di segnali che seguono strade assimilabili a percorsi di andata e ritorno, rimbalzando gli stessi tra la terra e la ionosfera o al più tra stazione-satellite-stazione.

Stesso ragionamento per il funzionamento del GPS, sul quale avevo letto da poco una bella trattazione di Francesca Intini su: “La natura del tempo” (Dedalo Bari), la quale evidenzia una anisotropia nella velocità della luce (c) di sola andata, in virtù di una correzione sulla marcia degli orologi atomici del sistema, legata “all'effetto Sagnac”.

La mattina del 20 Gennaio 2005 mi recai all'appuntamento che avevo concordato col prof. Silvio Bergia; quello che segue è il resoconto del nostro incontro:

Alle ore 10⁰⁰ incontrai il prof. Sivio Bergia, nel suo studio presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna.

Espletati brevi convenevoli, il professore mi chiese quale era la mia formazione ed io gli risposi che sono un perito termotecnico; che ho sostenuto gli esami del biennio di ingegneria e studio da una vita come autodidatta.

A questo punto della conversazione prese in mano il mio "Scusa Albert", dicendomi che per non essere un addetto ai lavori, ho affrontato, con proprietà gli argomenti ivi esposti e dopo aver affermato che è lecito continuare a specularci sopra, mi ha evidenziato alcune ingenuità che ha notato sullo scritto: a) in merito a cosa si intende per "Modello Standard"; b) sulla mia definizione del quanto di energia, che ho già discusso col Prof. Lamberti; c) sull'esposizione del "paradosso dei gemelli", affermando che l'impostazione che ho riportato non è corretta, nel senso che "l'effetto gemelli" è spiegabile anche nel quadro della "Relatività ristretta" ed io gli dissi che avrei ristudiato la sua spiegazione in "Le strutture dello spaziotempo".

Segui una breve digressione, sulla diatriba avuta da lui con Franco Selleri, della quale avevo già subodorato, leggendo un passo del "Lezioni di relatività", nel quale Selleri scrive: [La base sperimentale della teoria della relatività, non è dunque così "terrificante" come credono quelli che si spaventano facilmente [29].] e nella bibliografia del capitolo troviamo: [29] S. Bergia e M. Valleriani, "Giornale di Fisica", vol. XXXIX, p. 199 (1998).

A questo punto, il fatto che nel "Le strutture dello spaziotempo", vol. 1 a pag. 87 Bergia abbia inserito il capitolo << 3.8 L'ampliamento di Selleri >> e poi nei capitoli 3.9 e 3.10 utilizzando il formalismo di Selleri, tragga conclusioni dal "Sistema orario mondiale" e dal "GPS-Global Positioning System" a favore della "tesi canonica" (isotropia della velocità della luce (c) in percorsi di sola andata); l'ho interpretato come una continuazione della diatriba, ma non glielo dissi.

Accennai al fatto che nel suo "Le strutture dello spaziotempo" avevo trovato degli esempi su esperimenti, che potrebbero mettere in crisi la visione mia e di Selleri; questi esempi sono:

- a) La procedura di sincronizzazione degli orologi del "sistema orario mondiale" con segnali radio di sola andata, per i quali gli ho lasciato una mia piccola dimostrazione che concorda con la sua, evidenziando però il fatto che per la distanza, alla quale sono collocate le stazioni a terra dello stesso, il percorso dei segnali radio, non può essere considerato costante, oppure rientra nel caso di segnali che hanno seguito un percorso di andata e ritorno (stazione – satellite - stazione e viceversa).
- b) Il funzionamento del "GPS", per il quale gli lasciai la trattazione di Francesca Intini, tratta da "La natura del tempo" (Dedalo Bari), a mio giudizio la migliore che ho visto sinora, la quale evidenzia una anisotropia nella velocità della luce (c) di sola andata, in virtù di una correzione sulla marcia degli orologi atomici del sistema, legata "all'effetto Sagnac".
- c) Il risultato nullo (nessun spostamento di frange) di esperimenti alla Michelson e Morley, condotti con bracci dell'interferometro di lunghezza diversa, non è consistente con l'ipotesi della contrazione di Lorentz e Fitzgerald; per questo esempio gli ho lasciato una mia dimostrazione dalla quale si evince la consistenza.

Resomi conto che il tempo accordatomi volgeva al termine, evidenziai le difficoltà che stò incontrando nel pubblicare le mie idee, chiedendogli una piccola prefazione al mio "Scusa Albert", al che il prof. Bergia rispose che se la facesse lo stroncherebbe; io gli dissi che avrei gradito ugualmente e lui : << Le prometto che se deciderò di fargliela userò toni cortesi >>.

Nel congedarmi mi invitò a continuare la corrispondenza con lui via E-Mail ed intanto si erano fatte le 10³⁵.

Nei giorni seguenti, raccolsi l'invito a corrispondere ed all'incontro fece seguito uno scambio di E-Mail, nella prima delle quali gli chiedevo cosa ne pensasse della mia trattazione: sulla plausibilità della contrazione di Lorentz e Fitzgerald, a spiegare l'esito nullo di esperimenti alla Michelson e Morley, condotti con lunghezze dei bracci diseguali; la sua risposta fù:

[Caro ingegnere, il suo accenno circa la possibilità che la contrazione di Fitzgerald e Lorentz possa spiegare l'esito nullo anche nel caso di diseguale lunghezza dei bracci mi ha messo una pulce nell'orecchio. So che prima o poi ci guarderò..... Il mio interesse per la cosa è d'altra parte motivato dalla necessità di essere corretto nella didattica. Non si illuda: per come la vedo io la cosa non incrinerebbe il mio quadro mentale.....]

Infine il prof. Bergia, che ringrazio di cuore per l'attenzione dedicatami, mi recapitò via E-Mail la "Prefazione di un ortodosso".

La sua prefazione manteneva la promessa che mi fece al termine del nostro incontro, nel senso che si trattava di una stroncatura con toni cortesi, la quale lasciava però lo spazio perché questo scritto avesse una giustificazione:

[.....l'operazione di Selleri e dunque anche quella di Montorsi sono legittime, almeno da quando è chiaro ai più che uno stesso quadro sperimentale permette chiavi di lettura diverse. Tanto più se, come in questo caso, non si è in presenza di un verdetto definitivo circa l'effettiva distinguibilità fra di esse.]

e mentre scrivevo queste parole, mi interrogavo sulla questione:

<< Sarà vinta ora la battaglia di Guthemberg ? >>

La battaglia non era ancora vinta; l'editore al quale sottoposi lo scritto, così rispose:

[Mi dispiace ma la nostra risposta è negativa. Il suo scritto è certamente molto interessante, un altro libro su una visione eterodossa della relatività einsteiniana, che annovera fra i suoi sostenitori, anche il nostro Selleri. Durante la scrittura però si lascia andare a frasi un po' estreme, a giudizi troppo netti e ad argomentazioni spesso sbagliate. Voglio dire, è vero che gli esperimenti (alcuni) si possono leggere in chiave diversa dalla formulazione einsteiniana della relatività, ma a mio avviso va troppo oltre. La prefazione di Bergia è perfetta: disponibile e aperta, ma inflessibile là dove si valicano i limiti di correttezza scientifica.]

Devo dire che la critica contenuta nella risposta, era per quanto attiene ai toni pienamente giustificata ed una attenta riflessione mi porta a concludere, che quanto di negativo ha scritto il prof. Bergia nella sua prefazione è prevalentemente una reazione a quei toni.

Ho quindi deciso di rivedere lo scritto originale, eliminando o ritoccando quelle parti giudicate erranee, oppure troppo conclusive nei toni, facendo tesoro della critica ricevuta.

Nel frattempo ho elaborato altre conseguenze dall'applicazione delle "Trasformazioni inerziali":

- a) *Una originale descrizione delle condizioni spazio-temporali nella quale vivono gli osservatori inerziali, distinti dall'osservatore privilegiato (S_0) a riposo nell'etere.*

- b) *Una formulazione più generale, (invariante per “Trasformazioni inerziali”) dell’equazione di D’Alembert per la propagazione delle onde piane, la cui forma canonica (invariante per “Trasformazioni di Lorentz) risulta il caso particolare della nuova espressione, quando la stessa viene applicata nel sistema privilegiato a riposo nell’etere.*

- c) *La generalizzazione delle equazioni di Maxwell per l’elettromagnetismo (invariante per “trasformazioni inerziali”) la quale contiene la ridefinizione di un importante operatore vettoriale, l’operatore ∇ (nabla), foriera di future più ampie generalizzazioni.*

Ho quindi aggiunto tre appendici con queste conclusioni e nella speranza il prof.Bergia non me ne voglia se proverò di nuovo ad approfittare della sua disponibilità; gli sottoporro lo scritto nella nuova forma, sperando mi confermi quanto scrisse nella prima parte della sua prefazione e mitighi le critiche espresse nella fase conclusiva.

Se mi stai leggendo, la battaglia di Guthemberg è finalmente vinta

L’autore

Appendice a) *Lo spazio-tempo curvo degli osservatori inerziali*

La trattazione di Minkowski, deve la sua fortuna, alla particolare semplicità che nella stessa assume la descrizione della metrica di uno spazio-tempo isotropo, nei confronti della propagazione delle onde elettromagnetiche (c =costante in ogni direzione).

Nelle pagine precedenti, questa isotropia, abbiamo ipotizzato sia valida solamente nel sistema di riferimento (S_0) a riposo nell'etere e che nello stesso valga la relazione:

$$ds_0^2 = dx_0^2 + dy_0^2 + dz_0^2 - c^2 \cdot dt_0^2 \quad (a.1)$$

Se consideriamo lo spazio-tempo di Minkowski, come una varietà (V_4) di Riemann, ponendo le equivalenze:

$$x_1 = x ; \quad x_2 = y ; \quad x_3 = z ; \quad x_4 = c.t \quad (a.2)$$

la metrica su questa varietà può essere indicata nella forma compendiosa :

$$ds^2 = g_{\mu,\nu} \cdot dx^\mu \cdot dx^\nu \quad \text{con } (\mu,\nu = 1,2,3,4) \quad (a.3)$$

nella quale si fa uso della convenzione di Einstein, della somma sugli indici ripetuti in basso ed in alto:

$$g_{\mu,\nu} \cdot dx^\mu \cdot dx^\nu = \sum_1^4 g_{\mu,\nu} dx_\mu \cdot dx_\nu$$

L'espressione (a.1) con l'equivalenza (a.2) diviene:

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2 \quad (a.4)$$

Se la (a.4) la consideriamo, il risultato che si ottiene sviluppando la (a.3):

$$\begin{aligned} ds^2 = & g_{11} dx_1 dx_1 + g_{12} dx_1 dx_2 + g_{13} dx_1 dx_3 + g_{14} dx_1 dx_4 + \\ & g_{21} dx_2 dx_1 + g_{22} dx_2 dx_2 + g_{23} dx_2 dx_3 + g_{24} dx_2 dx_4 + \\ & g_{31} dx_3 dx_1 + g_{32} dx_3 dx_2 + g_{33} dx_3 dx_3 + g_{34} dx_3 dx_4 + \\ & g_{41} dx_4 dx_1 + g_{42} dx_4 dx_2 + g_{43} dx_4 dx_3 + g_{44} dx_4 dx_4 \end{aligned}$$

vediamo che solo i quattro termini diagonali hanno un valore ($\neq 0$), con tutti i termini misti ($=0$). I coefficienti ($g_{\mu,\nu}$) possono essere raccolti nella matrice:

$$[g_{\mu,\nu}] = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad (a.5)$$

Nel caso più generale, di un sistema di riferimento (S_i) in moto rettilineo uniforme nei confronti dell'etere, la (a.1) deve essere posta nella forma:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - [(v/c) \cdot dx - c \cdot dt]^2 \quad (a.6)$$

della quale la (a.1) rappresenta la particolare soluzione per ($v=0$).

La (a.6) può essere così esplicitata:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - [(v^2 / c^2) \cdot dx^2 + c^2 \cdot dt^2 - 2.v.dx.dt]$$

$$ds^2 = (1 - v^2 / c^2) \cdot dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 \cdot dt^2 + 2.v.dx.dt \quad (a.7)$$

La (a.7) posta nella forma espressa dalla (a.3) e fatte le equivalenze (a.2) è il risultato che si ottiene applicando la seguente matrice di coefficienti ($g_{\mu,\nu}$):

$$[g_{\mu,\nu}] = \begin{vmatrix} (1 - v^2 / c^2) & 0 & 0 & v/c \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ v/c & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad (a.8)$$

Nella trattazione di Riemann la condizione:

$$g_{\mu,\nu} = \delta_{\mu,\nu} \quad \text{dove } (\delta_{\mu,\nu}) \text{ è il (delta di Kroneker) così definito: } \begin{array}{ll} \delta_{\mu,\nu} = 1 & \text{se } \mu = \nu \\ \delta_{\mu,\nu} = 0 & \text{se } \mu \neq \nu \end{array}$$

esprime la condizione per uno spazio così detto piatto, nel quale gli elementi di linea o geodetiche, sono dei segmenti di rette euclidee.

L'esame della matrice (a.8) ci porta a concludere che un osservatore inerziale in moto rettilineo uniforme rispetto al sistema isotropo (S_0) a riposo nell'etere, vive in uno spazio-tempo incurvato, non più Euclideo, con la curvatura che deriva dalla variazione del coefficiente (g_{11})

$$\begin{array}{ll} \text{tra i valori:} & g_{11} = 1 \quad \text{per } v = 0 \\ & e \quad g_{11} \rightarrow 0 \quad \text{per } v \rightarrow c \end{array}$$

e dei coefficienti (g_{14}) e (g_{41})

$$\begin{array}{ll} \text{tra i valori:} & g_{14} = g_{41} = 0 \quad \text{per } v = 0 \\ & e \quad g_{14} = g_{41} \rightarrow 1 \quad \text{per } v \rightarrow c \end{array}$$

Esaminiamo il caso particolare (ipotetico) di un osservatore inerziale (S_i) in moto alla velocità della luce (c) nei confronti del sistema (S_0) a riposo nell'etere (ipotetico perché sappiamo essere questa condizione impossibile), il quale si muova lungo il verso positivo dell'asse (O_0-x_0) e ricaviamo l'intervallo invariante (ds^2) lungo la sua linea di universo spazio-temporale.

L'impostazione del problema (non a caso) si riduce ad una trattazione bidimensionale nelle coordinate ($x_0 ; t_0$) nel sistema privilegiato dell'osservatore (S_0) e ($x_i ; t_i$) nel sistema dell'osservatore generico (S_i), avremo quindi:

$$ds_0^2 = dx_0^2 - c^2 \cdot dt_0^2 = 0 \quad (a.9)$$

trattandosi nel sistema (S_0) di un intervallo di tipo luce e:

$$ds_i^2 = (1 - v^2 / c^2) \cdot dx_i^2 - c^2 \cdot dt_i^2 + 2.v.dx_i.dt_i = - c^2 \cdot dt_i^2 + 2.c.dx_i.dt_i \quad (a.10)$$

nel generico sistema inerziale dell'osservatore (S_i), per l'annullarsi del fattore $(1 - v^2 / c^2)$.

Da quanto visto in precedenza (appendice 4 di "Scusa Albert"), sappiamo che le (a.9) e (a.10) esprimono lo stesso intervallo spazio-temporale ed eguagliandole, otteniamo:

$$0 = - c^2 \cdot dt_i^2 + 2.c \cdot dx_i \cdot dt_i$$

la quale ci conduce al risultato:

$$c \cdot dt_i = 2 \cdot dx_i \quad (a.11)$$

ma: $[dx_i / dt_i = c_i]$ e la (a.11) porge:

$$c_i = c / 2 \quad (a.12)$$

e per altra via ritroviamo il risultato già ottenuto nella seconda parte di questa esposizione, come conseguenza del nuovo teorema sulla somma relativistico-inerziale delle velocità.

Un ipotetico osservatore in moto alla velocità (v) nei confronti dell'etere all'inseguimento di un raggio di luce, vede questo raggio sorpassarlo ad una velocità che varia tra il valore ($c_i = c$) per ($v=0$) e ($c_i = c/2$) al tendere di (v) a (c), [naturalmente effettuando le sue misurazioni con regoli che si sono accorciati al massimo grado (causa la contrazione di Lorentz) e con orologi rallentati alla stessa stregua (dilatazione dei tempi)].

Non possiamo esprimerci sulla possibilità che l'osservatore raggiunga il raggio di luce, perché il formalismo nel caso sia ($v=c$) ci conduce a forme indeterminate ed abbiamo già visto in precedenza l'impossibilità di accelerare i corpi materiali fino alla velocità (c) della luce.

Vedremo comunque nella prossima appendice di trovare una risposta all'interrogativo giovanile che si poneva Albert:

["Se potessi cavalcare un raggio di luce che cosa osserverei ?"]

Appendice b) L'equazione di D'Alembert generalizzata

L'equazione di D'Alembert per il fronte di propagazione delle onde, nel caso delle onde piane (possiamo considerare che a ragionevole distanza dalla sorgente, siano piane anche le onde elettromagnetiche), si riduce ad una trattazione spazialmente unidimensionale ed assume la forma:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0 \quad (b.1)$$

dove (ϕ) indica la funzione $[\phi(x, t)]$ che esprime il valore del campo elettrico o magnetico nel punto di coordinata (x) al tempo (t) nel sistema di riferimento inerziale dell'osservatore (S) .

Giova ricordare che la (b.1) in questa forma è invariante per "Trasformazioni di Lorentz" e la dimostrazione la si può trovare a pag.294 e seg.ti di ["Le strutture dello spaziotempo" Vol.1, come soluzione dell'esercizio 7.1 del capitolo 7].

Mi propongo nel seguito, l'applicazione dello stesso schema dimostrativo, per ricavare le conseguenze che derivano dall'applicare le "Trasformazioni inerziali" all'equazione di D'Alembert.

Dalle trasformazioni inerziali:

$$x' = \frac{(x - v \cdot t)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} ; \quad y' = y ; \quad z' = z ; \quad t' = t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ricaviamo le seguenti derivate parziali che utilizzeremo in seguito :

$$\frac{\partial x'}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} ; \quad \frac{\partial y'}{\partial x} = 0 ; \quad \frac{\partial z'}{\partial x} = 0 ; \quad \frac{\partial t'}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial x'}{\partial t} = -\frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} ; \quad \frac{\partial y'}{\partial t} = 0 ; \quad \frac{\partial z'}{\partial t} = 0 ; \quad \frac{\partial t'}{\partial t} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{\partial t'}{\partial x} = 0 ; \quad \frac{\partial t'}{\partial y} = 0 ; \quad \frac{\partial t'}{\partial z} = 0$$

Dalla $\{\phi = \phi[x, t]\}$, applicando le "Trasformazioni inerziali":

$$x = x' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{v \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} ; \quad y = y' ; \quad z = z' ; \quad t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

otteniamo la $\{\phi = \phi[x', t']\}$, dalla quale possiamo ricavare la seguente:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial x} \quad \text{e quindi: } \left[\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x'} \right]$$

poi:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x'} \left[\frac{\partial \phi}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} \right] \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} \cdot \left(\frac{\partial x'}{\partial x} \right)^2 \quad \text{da cui: } \left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} \right] \quad (b.2)$$

Andiamo ora a ricavare:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial \phi}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \quad \text{e quindi: } \left[\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x'} + \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t'} \right]$$

poi:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x'} \left[\frac{\partial \phi}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \right] \cdot \frac{\partial x'}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t'} \left[\frac{\partial \phi}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \right] \cdot \frac{\partial t'}{\partial t}$$

da cui:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} \cdot \left(\frac{\partial x'}{\partial t} \right)^2 + \frac{\partial^2 \phi}{\partial x' \partial t'} \cdot \left(\frac{\partial x'}{\partial t} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \right) + \frac{\partial^2 \phi}{\partial x' \partial t'} \cdot \left(\frac{\partial x'}{\partial t} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \right) + \frac{\partial^2 \phi}{\partial t'^2} \cdot \left(\frac{\partial t'}{\partial t} \right)^2$$

$$\left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} - 2 \cdot v \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x' \partial t'} + \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t'^2} \right] \quad (b.3)$$

Andiamo ora a sostituire la (b.2) e la (b.3) nella (b.1) ottenendo:

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} - \frac{1}{c^2} \cdot \left[\frac{v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} - 2 \cdot v \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x' \partial t'} + \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t'^2} \right] = 0 \quad (b.4)$$

dopo alcuni passaggi la (b.4) ci porge:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} - \frac{1}{c^2} \cdot \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t'^2} - 2 \cdot v \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x' \partial t'} \right] = 0 \quad (b.5)$$

L'espressione (b.5) rappresenta la forma assunta dall'equazione di D'Alembert per le onde piane nel quadro delle "Trasformazioni inerziali", la quale risulta valida in ogni sistema di riferimento inerziale (S'), caratterizzato dalla velocità (v) nei confronti del sistema di riferimento privilegiato (S) a riposo nell'etere.

Come possiamo verificare banalmente, la forma canonica (b.1) risulta ancora valida nel sistema di riferimento (S) a riposo nell'etere, essendo la stessa il caso particolare per ($v=0$) della più generale (b.5).

Ricordiamo che nel quadro delle "Trasformazioni inerziali", un generico osservatore inerziale (S_i) [in moto nella configurazione standard alla velocità (v_i) nei confronti del sistema privilegiato (S_0) a riposo nell'etere] misura per la velocità della luce (c_i) (in percorsi di sola andata) il valore:

$$c_i = \frac{c^2}{c + v_i}.$$

Andiamo ora a sostituire l'ultima espressione nella (b.5) ottenendo una forma più generale, valida per ogni (i -esimo) generico osservatore inerziale (S_i):

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x_i^2} - \frac{1}{c_i} \cdot \left[\left(\frac{c - v_i}{c^2} \right) \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial t_i^2} - \left(\frac{2 \cdot v_i}{c + v_i} \right) \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x_i \partial t_i} \right] = 0 \quad (b.6)$$

La (b.6) rappresenta la forma più generale dell'equazione di D'Alembert, dove (c_i) assume il significato di velocità di propagazione dell'onda luminosa, misurata nel sistema inerziale (S_i).

Utilizzando questa formulazione, proviamo a dare una risposta all'interrogativo che Albert Einstein si poneva in età giovanile:

[<< **se potessi cavalcare un raggio di luce che cosa osserverei ?** >>]

Allo scopo osserviamo che la (b.6) al limite per ($v_i \rightarrow c$), porge:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x_i^2} + \frac{1}{c_i} \cdot \left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial x_i \partial t_i} \right] = 0 \quad \text{che possiamo porre nella forma: } \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{c_i} \cdot \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial \phi}{\partial t_i} \right) = 0$$

e dalla quale otteniamo:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_i} + \frac{1}{c_i} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t_i} \right) = 0$$

la quale ci porta a concludere che:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x_i} + \frac{1}{c_i} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t_i} \right) = \text{cost.}$$

nei confronti della variabile (x_i) e quindi la [$\phi = \phi(x', t')$] deve essere una funzione lineare nella variabile (x_i) e nei vari punti del sistema di riferimento, associato all'osservatore che cavalca il raggio di luce, si assiste alla scomparsa del fenomeno ondulatorio, vista la linearità della [$\phi(x', t')$] nella variabile (x_i).

Si viene così a riprodurre la situazione che suggerisce il senso comune, prefigurando la situazione di un campione di surf che cavalca un' onda marina, spostandosi alla medesima velocità della stessa e rimanendovi sopra in equilibrio, senza risentire del moto ondoso.

La risposta fornita dalle "Trasformazioni inerziali" all'interrogativo che in gioventù si poneva Albert sembra quindi essere la seguente:

[<< Il buio ! >>]

c) *La generalizzazione delle equazioni di Maxwell*

Nel corso del 1905, Albert pubblicò il suo famoso articolo: "L'elettrodinamica dei corpi in movimento" ed al paragrafo 6 presentò la trasformazione delle equazioni di Maxwell-Hertz per l'elettromagnetismo, basando la sua trattazione sulle "trasformazioni di Lorentz".

In questa appendice viene discusso lo stesso argomento, basando però la trattazione su di una forma generalizzata delle "trasformazioni inerziali", perseguendo l'obiettivo di dare per le equazioni di Maxwell-Hertz una forma generalizzata, valida in ogni generico sistema inerziale di riferimento in moto rettilineo uniforme alla velocità (\vec{v}), nei confronti di un sistema di riferimento privilegiato, considerato a riposo nell'etere di Lorentz.

Per rendere più facilmente fruibili i risultati che andremo ad ottenere, adotterò per le equazioni di Maxwell, la forma che assumono nel sistema di misura internazionale (S.I.) e chiarirò meglio in seguito le differenze rispetto al sistema di misura di Gauss, spesso utilizzato in alternativa per lo studio di questo argomento.

Una forma particolarmente sintetica (cfr. P.Mazzoldi, M.Nigro, C.Voci "Fisica" vol.2 pag.361) delle equazioni, nello spazio vuoto in presenza di cariche e correnti di conduzione, distribuite rispettivamente con densità (ρ) e (\vec{J}) è la seguente:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} & \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 & \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \cdot \vec{J} + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{aligned} \tag{c.1}$$

come al solito l'operatore vettoriale ∇ (nabla) è così definito:

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \vec{k} \tag{c.2}$$

dove ($\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$) sono i versori lungo gli assi (x,y,z) di un sistema di riferimento cartesiano.

Nelle (c.1) \vec{E} e \vec{B} (come scritto in precedenza) sono rispettivamente, il campo elettrico ed il campo magnetico, funzioni vettoriali del punto (x,y,z), le quali possiamo scrivere in funzione delle componenti lungo i tre assi coordinati, in questo modo:

$$\vec{E} = E_x \cdot \vec{i} + E_y \cdot \vec{j} + E_z \cdot \vec{k} \quad \vec{B} = B_x \cdot \vec{i} + B_y \cdot \vec{j} + B_z \cdot \vec{k} \tag{c.3}$$

con:

$$\begin{aligned} E_x &= E_x(x,y,z,t) & E_y &= E_y(x,y,z,t) & E_z &= E_z(x,y,z,t) \\ B_x &= B_x(x,y,z,t) & B_y &= B_y(x,y,z,t) & B_z &= B_z(x,y,z,t) \end{aligned} \tag{c.4}$$

funzioni scalari del punto (x,y,z) al tempo (t).

Sempre nelle (c.1) (ϵ_0) e (μ_0) sono la costante dielettrica e la permeabilità magnetica del vuoto, rispettivamente.

La (ρ) esprime la densità di carica e sarà generalmente una funzione scalare del punto (x,y,z) al tempo (t):

$$\rho = \rho(x, y, z, t) \tag{c.5}$$

La (\vec{J}) densità di corrente elettrica, funzione vettoriale del punto (x,y,z) al tempo (t) :

$$\vec{J} = \vec{J}_x(x, y, z, t) \cdot \vec{i} + \vec{J}_y(x, y, z, t) \cdot \vec{j} + \vec{J}_z(x, y, z, t) \cdot \vec{k} \quad (c.6)$$

Giova a questo punto ricordare che le (c.1) rappresentano la forma delle equazioni di Maxwell nel sistema di misura internazionale (S.I.); praticamente il sistema (M,K,S,A) razionalizzato.

Accanto alle (c.1) consideriamo anche la forza agente su di una carica (q) , cioè la “forza di Lorentz”:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (c.7)$$

Nella letteratura fisica troviamo spesso le equazioni di Maxwell, espresse nel sistema di misura di Gauss.

Apriamo una parentesi per dire che la caratteristica peculiare del sistema di misura di Gauss, è l'introduzione di un fattore $\left(\frac{1}{c}\right)$ tra le grandezze elettriche e magnetiche; ad esempio, la forza di Lorentz (c.7), nel sistema di misura di Gauss assume la forma:

$$\vec{F} = q \cdot \left(\vec{E} + \frac{1}{c} \cdot \vec{v} \times \vec{B} \right) \quad (\text{sistema di misura di Gauss})$$

Fatte queste osservazioni e ricordando che:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad \text{da cui:} \quad c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}$$

abbiamo equivalenza tra le scritte:

$$\mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{sistemi MKSA - SI}) \quad \text{e} \quad \frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{sistema di Gauss})$$

infatti per passare dall'espressione nel sistema di misura di Gauss a quella nel sistema (SI) dobbiamo dividere per (c) anche il campo elettrico (\vec{E}) ottenendo:

$$\frac{1}{c} \cdot \left(\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

chiusa la parentesi, torniamo a perseguire il nostro obiettivo ed allo scopo scriviamo le “trasformazioni inerziali” in questa forma generalizzata, nella quale si considera la contrazione di Lorentz sul generico asse coordinato, dipendente dalla componente su tale asse, della velocità (\vec{v}) di spostamento, dell'origine del sistema mobile:

$$x' = \frac{x - v_x \cdot t}{\gamma_x} ; \quad y' = \frac{y - v_y \cdot t}{\gamma_y} ; \quad z' = \frac{z - v_z \cdot t}{\gamma_z} ; \quad t' = \gamma \cdot t \quad (c.8)$$

ove al solito: $[\gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}]$ mentre: $[\gamma_x = \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} ; \gamma_y = \sqrt{1 - \frac{v_y^2}{c^2}} ; \gamma_z = \sqrt{1 - \frac{v_z^2}{c^2}}]$.

Dalle (c.8) ricaviamo le seguenti derivate parziali che ci torneranno utili nel seguito:

$$\begin{array}{cccc}
 \frac{\partial x'}{\partial x} = \frac{1}{\gamma_x} & \frac{\partial y'}{\partial x} = 0 & \frac{\partial z'}{\partial x} = 0 & \frac{\partial t'}{\partial x} = 0 \\
 \frac{\partial x'}{\partial y} = 0 & \frac{\partial y'}{\partial y} = \frac{1}{\gamma_y} & \frac{\partial z'}{\partial y} = 0 & \frac{\partial t'}{\partial y} = 0 \\
 \frac{\partial x'}{\partial z} = 0 & \frac{\partial y'}{\partial z} = 0 & \frac{\partial z'}{\partial z} = \frac{1}{\gamma_z} & \frac{\partial t'}{\partial z} = 0 \\
 \frac{\partial x'}{\partial t} = -\frac{v_x}{\gamma_x} & \frac{\partial y'}{\partial t} = -\frac{v_y}{\gamma_y} & \frac{\partial z'}{\partial t} = -\frac{v_z}{\gamma_z} & \frac{\partial t'}{\partial t} = \gamma
 \end{array} \quad (c.9)$$

Da $\vec{E}(x, y, z, t)$ applicando le “trasformazioni inerziali” (c.8) otteniamo $\vec{E}(x', y', z', t')$, come pure per (\vec{B}, ρ, \vec{J}) otteniamo espressioni in funzione del punto (x', y', z') al tempo (t') del sistema di riferimento inerziale, in moto nell'etere alla velocità (v) .

Iniziamo ricavando:

$$\begin{aligned}
 \nabla \cdot \vec{E} = & \frac{\partial E_x}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \frac{\partial E_x}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial x} + \frac{\partial E_x}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial x} + \frac{\partial E_x}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial x} + \\
 & + \frac{\partial E_y}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial y} + \frac{\partial E_y}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial y} + \frac{\partial E_y}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial y} + \frac{\partial E_y}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial y} + \\
 & + \frac{\partial E_z}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} + \frac{\partial E_z}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial z} + \frac{\partial E_z}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} + \frac{\partial E_z}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial z}
 \end{aligned}$$

la quale sostituendovi le (c.9) ci porge:

$$[\nabla \cdot \vec{E} = \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial E_x}{\partial x'} + \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial y'} + \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial E_z}{\partial z'}] \quad (c.10)$$

analogamente avremo:

$$\begin{aligned}
 \nabla \cdot \vec{B} = & \frac{\partial B_x}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \dots + \frac{\partial B_x}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial x} + \dots \\
 [\nabla \cdot \vec{B} = & \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial x'} + \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial y'} + \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z'}] \quad (c.11)
 \end{aligned}$$

Sviluppamo ora la:

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}$$

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \cdot \vec{k} \quad (c.12)$$

della quale andiamo ad esplicitare i termini:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial E_z}{\partial y} &= \frac{\partial E_z}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial y} = \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial E_z}{\partial y'} \\
 \frac{\partial E_y}{\partial z} &= \frac{\partial E_y}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} + \dots + \frac{\partial E_y}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial z} = \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial z'} \\
 \frac{\partial E_x}{\partial z} &= \frac{\partial E_x}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} + \dots + \frac{\partial E_x}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial z} = \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial E_x}{\partial z'} \\
 \frac{\partial E_z}{\partial x} &= \frac{\partial E_z}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \dots + \frac{\partial E_z}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial x} = \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial E_z}{\partial x'} \\
 \frac{\partial E_y}{\partial x} &= \frac{\partial E_y}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} + \dots + \frac{\partial E_y}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial x} = \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial x'} \\
 \frac{\partial E_x}{\partial y} &= \frac{\partial E_x}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial y} + \dots + \frac{\partial E_x}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial y} = \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial E_x}{\partial y'}
 \end{aligned} \tag{c.13}$$

sostituendo poi le (c.13) nella (c.12) ed i versori $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, con i versori $(\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}')$ del sistema di riferimento mobile (O', x', y', z', t') , otteniamo:

$$\begin{aligned}
 \nabla \times \vec{E} &= \left(\frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial E_z}{\partial y'} - \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial z'} \right) \cdot \vec{i}' + \left(\frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial E_x}{\partial z'} - \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial E_z}{\partial x'} \right) \cdot \vec{j}' + \left(\frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial x'} - \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial E_x}{\partial y'} \right) \cdot \vec{k}' \\
 \text{cioè: } \quad [\nabla \times \vec{E} &= \begin{vmatrix} \vec{i}' & \vec{j}' & \vec{k}' \\ \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial}{\partial x'} & \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial}{\partial y'} & \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial}{\partial z'} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}] \tag{c.14}
 \end{aligned}$$

[La sostituzione dei versori $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ con i versori $(\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}')$ presuppone che nel sistema mobile si mantenga l'orientamento degli assi coordinati, parallelo agli assi del sistema di riferimento considerato a riposo nell'etere.

La generalizzazione contenuta nelle (c.8) coinvolge soltanto il libero orientamento della velocità (\vec{v}) dell'origine del sistema di riferimento mobile, lasciando inalterate le altre caratteristiche della "configurazione Standard"]

Ricaviamo ora:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= \left(\frac{\partial B_x}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial t} + \frac{\partial B_x}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial t} + \frac{\partial B_x}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial t} + \frac{\partial B_x}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \right) \cdot \vec{i}' + \\
 &\quad \left(\frac{\partial B_y}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial t} + \frac{\partial B_y}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial t} + \frac{\partial B_y}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial t} + \frac{\partial B_y}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \right) \cdot \vec{j}' + \\
 &\quad \left(\frac{\partial B_z}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial t} + \frac{\partial B_z}{\partial y'} \cdot \frac{\partial y'}{\partial t} + \frac{\partial B_z}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial t} + \frac{\partial B_z}{\partial t'} \cdot \frac{\partial t'}{\partial t} \right) \cdot \vec{k}'
 \end{aligned}$$

nella quale andando a sostituire le posizioni fatte nelle (c.9) otteniamo:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = & \left(-\frac{v_x}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial x'} - \frac{v_y}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial y'} - \frac{v_z}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial z'} + \gamma \cdot \frac{\partial B_x}{\partial t'} \right) \cdot \vec{i} + \\ & + \left(-\frac{v_x}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial x'} - \frac{v_y}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial y'} - \frac{v_z}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial z'} + \gamma \cdot \frac{\partial B_y}{\partial t'} \right) \cdot \vec{j} + \\ & + \left(-\frac{v_x}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial x'} - \frac{v_y}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial y'} - \frac{v_z}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z'} + \gamma \cdot \frac{\partial B_z}{\partial t'} \right) \cdot \vec{k} \end{aligned}$$

da cui, ponendo: $v_x = \vec{v} \cdot \vec{i}$ $v_y = \vec{v} \cdot \vec{j}$ $v_z = \vec{v} \cdot \vec{k}$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = & \gamma \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t'} - \left(\frac{\vec{v} \cdot \vec{i}}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial x'} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{j}}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial y'} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{k}}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial z'} \right) \cdot \vec{i} - \\ & - \left(\frac{\vec{v} \cdot \vec{i}}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial x'} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{j}}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial y'} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{k}}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial z'} \right) \cdot \vec{j} - \\ & - \left(\frac{\vec{v} \cdot \vec{i}}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial x'} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{j}}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial y'} + \frac{\vec{v} \cdot \vec{k}}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z'} \right) \cdot \vec{k} \end{aligned}$$

ed applicando le regole del prodotto scalare tra vettori:

$$\begin{aligned} \vec{i} \cdot \vec{i} = 1 & \quad \vec{j} \cdot \vec{j} = 1 & \quad \vec{k} \cdot \vec{k} = 1 \\ \vec{i} \cdot \vec{j} = 0 & \quad \vec{i} \cdot \vec{k} = 0 & \quad \vec{j} \cdot \vec{k} = 0 \\ \vec{j} \cdot \vec{i} = 0 & \quad \vec{k} \cdot \vec{i} = 0 & \quad \vec{k} \cdot \vec{j} = 0 \end{aligned}$$

ricaviamo:

$$\left[\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \gamma \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t'} - \vec{v} \cdot \left(\frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial B_x}{\partial x'} + \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial B_y}{\partial y'} + \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z'} \right) \right] \quad (c.15)$$

Avremo anche:

$$\left[\nabla \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i}' & \vec{j}' & \vec{k}' \\ \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial}{\partial x'} & \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial}{\partial y'} & \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial}{\partial z'} \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} \right] \quad (c.16)$$

e:

$$\left[\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \gamma \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t'} - \vec{v} \cdot \left(\frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial E_x}{\partial x'} + \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial E_y}{\partial y'} + \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial E_z}{\partial z'} \right) \right] \quad (c.17)$$

nelle quali abbiamo posto:

$$\gamma_x = \sqrt{1 - \frac{v_x^2}{c^2}} \quad \gamma_y = \sqrt{1 - \frac{v_y^2}{c^2}} \quad \gamma_z = \sqrt{1 - \frac{v_z^2}{c^2}}$$

e naturalmente avremo:

$$\vec{v} = v_x \cdot \vec{i} + v_y \cdot \vec{j} + v_z \cdot \vec{k} \quad \text{e} \quad \gamma = \sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}}$$

Ricordiamo che le (v_x, v_y, v_z) rappresentano le componenti del vettore velocità (\vec{v}) associato al moto dell'origine (O) del generico sistema di riferimento (O', x', y', z', t') mobile nei confronti del sistema privilegiato (O, x, y, z, t) considerato a riposo nell'etere e che si possono ottenere come risultato dei seguenti prodotti scalari:

$$v_x = \vec{v} \cdot \vec{i} \quad v_y = \vec{v} \cdot \vec{j} \quad v_z = \vec{v} \cdot \vec{k}$$

risultando ognuna, la proiezione di (\vec{v}) sull'asse coordinato corrispondente.

Fatta questa posizione, utilizzando le notazioni vettoriali possiamo porre:

$$\gamma_x = \sqrt{1 - \left(\frac{\vec{v} \cdot \vec{i}}{c}\right)^2} \quad \gamma_y = \sqrt{1 - \left(\frac{\vec{v} \cdot \vec{j}}{c}\right)^2} \quad \gamma_z = \sqrt{1 - \left(\frac{\vec{v} \cdot \vec{k}}{c}\right)^2}$$

ed osservando la forma assunta dalle espressioni da (c.10) a (c.17) deduciamo che la nuova forma generalizzata per le equazioni di Maxwell si ottiene ridefinendo l'operatore ∇ (nabla) in questo modo:

$$\boxed{\nabla' = \frac{1}{\gamma_x} \cdot \frac{\partial}{\partial x'} \cdot \vec{i} + \frac{1}{\gamma_y} \cdot \frac{\partial}{\partial y'} \cdot \vec{j} + \frac{1}{\gamma_z} \cdot \frac{\partial}{\partial z'} \cdot \vec{k}} \quad (c.18)$$

e ridefinendo le (c.15) e (c.17) come:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \gamma \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t'} - \vec{v} \cdot (\nabla' \cdot \vec{B}) \quad \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \gamma \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t'} - \vec{v} \cdot (\nabla' \cdot \vec{E}) \quad (c.19)$$

dove con $[(\nabla' \cdot \vec{B})$ e $(\nabla' \cdot \vec{E})]$ si intende la divergenza delle funzioni vettoriali:

$$\vec{B} = \vec{B}(x', y', z', t') \quad \vec{E} = \vec{E}(x', y', z', t')$$

ottenuta applicando la nuova definizione (c.18) per l'operatore ∇' (nabla).

Con le posizioni fatte, otteniamo finalmente la forma generalizzata delle "equazioni di Maxwell", valide in ogni sistema di riferimento inerziale:

(relatività inerziale)

$$\begin{aligned}\nabla' \cdot \vec{E} &= \frac{\rho'}{\varepsilon_0} & \nabla' \times \vec{E} &= \vec{v} \cdot (\nabla' \cdot \vec{B}) - \gamma \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t'} \\ \nabla' \cdot \vec{B} &= 0 & \nabla' \times \vec{B} &= \mu_0 \cdot \vec{J}' + \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \left(\gamma \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t'} - \vec{v} \cdot (\nabla' \cdot \vec{E}) \right)\end{aligned}$$

le quali risultano invarianti per “trasformazioni inerziali”.

Risulta banale la verifica che per ($\vec{v} = 0$), per esse si ritrova la forma canonica, la quale riproponiamo per agevolare il confronto:

(relatività classica)

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0} & \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 & \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \cdot \vec{J} + \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

Conclusa questa fatica, una vocina interna, mi suggerisce che la modifica ∇' all'operatore ∇ (nabla), proposta nella (c.18) e la ridefinizione della derivata di un vettore fatta rispetto al tempo, contenuta nelle (c.19), dovrebbero avere validità in tutti i contesti fisici, che possono essere studiati mediante questi strumenti della geometria differenziale e del calcolo vettoriale.

Con questa osservazione, concludo per davvero, congedandomi dall'impaziente lettore, che saltato tutto quanto precede, ha voluto vedere come andava a finire, esortandolo a non ritornare sui suoi passi; se invece sei un lettore metodico ed hai diligentemente seguito tutto il filo del discorso, magari capendoci anche qualcosa, ti meriti tutta la mia stima e comprensione e ti ringrazio di cuore per l'attenzione che mi hai prestato, indipendentemente dalle conclusioni che puoi aver tratto dalla lettura di queste pagine.