

Una nota sulla critica storica alle trasformazioni di Lorentz in relatività speciale

Pietro Di Mauro¹ - Liceo Scientifico Statale “E. Fermi”, Paternò (CT) -
pietro.dimauro@istruzione.it

Angelo Pagano² - INFN & Dipartimento di Fisica e Astronomia
dell’Università di Catania - angelo.pagano@ct.infn.it

Abstract: Lorentz transformation is widely used in modern relativistic physics in interpreting phenomena and predicting new experiments. In these fields, as commonly understood, this transformation establishes a linear correspondence between two four-dimensional space-time reference systems in relative (uniform) motion by connecting two set of coordinates that both correspond to the same physical event, so changing the classical notion of absolute time chronology. However, as firstly pointed out by C. Somigliana in Turin on 1922, since the early theoretical developments given by Voight on 1887, and well before the appearance of Einstein’s work on special relativity on 1905, Lorentz transformation has played a key note in describing Doppler effects of wave propagation in moving media. A critical analysis of foundation of Lorentz transformation in relativity is discussed with respect to the early Somigliana’s observation about Einstein’s relativity.

Keywords: Lorentz transformation, relativity

1. Introduzione

Le trasformazioni di Lorentz (LT) si trovano esaminando le proprietà invarianze di una tipica equazione d’onda di D’Alembert. Un esempio classico è dato dalla propagazione dell’onda elettromagnetica nel vuoto o in mezzi isotropi ed omogenei. Le stesse trasformazioni (LT) si trovano anche in acustica o nella teoria dell’elasticità e, comunque, in tutte le branche della fisica nelle quali il modello adottato per la descrizione del fenomeno conduce all’equazione d’onda classica. È evidente, dunque, come già osservato nel 1922 e nel 1923 da Carlo Somigliana, che le LT non sono una caratteristica peculiare della teoria della relatività. Esse trovano vaste applicazioni nella moderna teoria delle onde acustiche o, più in generale, in modelli newtoniani di propagazione di onde meccaniche (Morse, Ingard 1986, pp. 698-777). Sia l’effetto Doppler acustico che quello elettromagnetico, propriamente, si descrivono con la stessa trasformata che si

¹ Also at: INFN & Dipartimento di Fisica e Astronomia dell’università di Catania; Associazione Culturale “Salvatore Notarri” Mondotre – La Scuola Italiana.

² Also at: Associazione Culturale “Salvatore Notarri” Mondotre – La Scuola Italiana; Accademia degli Zelanti e dei Dafnici di Acireale.

suole chiamare di Lorentz che, invece, dovrebbe chiamarsi di Voigt, dal nome dello studioso che per primo la stabilì nel 1887. La priorità del Voigt rispetto alla paternità delle trasformazioni di Lorentz è stata riconosciuta dal Pauli (Pauli 2008), nella sua presentazione della relatività di Einstein e da tanti altri importanti autori del passato.³ Per questo, come già suggerito dal Somigliana, le trasformazioni in questione dovrebbero chiamarsi del Voigt-Lorentz. Una revisione dei libri di testo è auspicabile, non solo per questioni legate alla priorità, ma – e soprattutto – per indicare che le trasformazioni Lorentz si applicano a campi del sapere che sono molto diversi tra loro. Esse non sono, in contrasto a come generalmente percepite, caratteristiche particolari della teoria relatività speciale.

Nel paragrafo 2, accenneremo alla critica del Somigliana alle trasformazioni di Lorentz come interpretate in relatività speciale. Nel paragrafo 3 è discusso il ruolo della trasformazione di Lorentz sul concetto di contemporaneità tra eventi. Nel paragrafo 4, infine, vengono date alcune conclusioni.

2. La critica di Carlo Somigliana alle trasformazioni di Lorentz applicate alla relatività dei corpi in movimento.

La critica del Somigliana all'usuale interpretazione relativistica delle LT parte dalla considerazione che questa trasformazione rappresenta il legame necessario (nel caso lineare) tra due insiemi di coordinate (x,y,z,t) e (x',y',z',t') rispetto alle quali, rispettivamente, è descritta la propagazione di onde vibranti di natura fisica anche diversa, purché tale propagazione venga descritta da un'equazione d'onda di D'Alembert per il vettore vibrante E (campo elettrico, magnetico, ampiezza acustica, elastica, ...). Tutte le proprietà matematiche che si deducono dall'equazione di D'Alembert sono valide sia in modelli meccanici di tipo newtoniano che in modelli elettromagnetici di tipo maxwelliano. Ciò è dimostrato dal fatto che già l'acustica fornisce un esempio importante di queste proprietà nella descrizione dell'effetto Doppler, come mostrato per la prima volta dal Voigt (1887). Purtroppo, il lavoro del Voigt era (e rimane) in pratica sconosciuto ai più (Heras 2014). Il Somigliana si chiede: qual è il significato della trasformazione di Lorentz nell'ordinaria meccanica newtoniana? La risposta che ne dà nel 1922 è semplice (Somigliana 1922):

Una questione di tal fatta è già stata risolta, molto tempo prima che si parlasse di relatività, in una memoria del Voigt del 1887 nella quale viene studiato il problema della propagazione delle onde provenienti da sorgenti che si muovono uniformemente in linea retta e vien data una dimostrazione del principio di Doppler. E lo strumento di cui l'autore si serve è appunto una trasformazione lineare, che si riduce subito a quella di Lorentz. Questa Memoria non è generalmente citata nei trattati

³ La rivista «Scientia» dedicò la pubblicazione dell'anno 1923 alla raccolta d'importanti contributi di studiosi italiani ed europei che si schierarono pro o contro la relatività.

sulla relatività; vi si accenna incidentalmente nella *Relativitätstheorie* di Pauli, contenuta nella Enciclopedia delle Scienze matematiche (vol. V (2), fasc. 4°).

E, riprendendo la questione nel 1923, più esplicitamente così si esprime (Somigliana 1923):

Se si considerano due spazi S ed S' nei quali si propagano onde provenienti da certe sorgenti, fisse nell'uno e animate invece da moto uniforme nell'altro, la perturbazione che in un tempo t avviene in un punto P del primo spazio, si riproduce, in un certo tempo t' , in un certo punto P' del secondo. In linguaggio matematico ciò si può esprimere dicendo che è possibile stabilire una corrispondenza fra i punti-tempo dei due spazi in modo che nei punti corrispondenti le perturbazioni siano uguali, od abbiano una certa relazione tra loro.

Quindi, la trasformazione di Lorentz collega punti del fronte d'onda che nei due spazi si presentano con una ben definita differenza di fase. La stessa cosa si ha in elettromagnetismo con la propagazione della luce e nell'interpretazione dell'effetto Doppler. Ed ecco, allora, le conclusioni di Somigliana (1922):

È chiaro che tutte le proprietà che nella teoria della relatività sono risultanti dalla trasformazione lorentziana, sono generalmente suscettibili di una interpretazione, analoga alla precedente, di carattere nettamente newtoniano. E che per conseguenza qualunque eventuale verifica sperimentale di tali proprietà non potrà in via generale essere citata come decisiva a favore dell'una piuttosto che dell'altra interpretazione.

Conclusione di grande importanza soprattutto inserita nel contesto storico degli anni '20 e '30 del novecento che vide un aspro dibattito tra i sostenitori della teoria della relatività (3). Tuttavia, notiamo che Einstein non introduce la famosa trasformazione a partire dalle proprietà dell'equazione d'onda di D'Alembert, bensì dalla critica fondamentale del concetto di contemporaneità *assoluta* di Galileo-Newton. Le due derivazioni (classica e einsteiniana) sono concettualmente diverse. E, pertanto, pur riconoscendo il grande valore scientifico dell'analisi del Somigliana, notiamo che quest'ultimo aspetto, il più significativo nel lavoro di Einstein (a nostro avviso) non viene esplicitamente affrontato nel suo lavoro. È questo l'aspetto sul quale ci soffermiamo brevemente nel paragrafo seguente.

3. Sul concetto di contemporaneità

È noto che Einstein, nel suo famoso articolo del 1905 (Einstein 1905), ritrova le LT, apparentemente, in modo indipendente da modelli particolari (modello newtoniano o modello elettromagnetico), ma attingendo solo ai principi primi di omogeneità ed isotropia dello spazio e del tempo, assumendo una geometria euclidea per le lunghezze con l'aggiunta dell'importante postulato sulla invarianza del valore della velocità della luce rispetto a trasformazioni di coordinate tra due sistemi inerziali (o, come sarebbe meglio dire, assumendo l'indipendenza della velocità della luce dalla sorgente e dal

rivelatore). Le LT sono dedotte ricercando le coordinate corrispondenti a un evento, definito in un sistema *in quiete*, che venga descritto rispetto ad un sistema *in moto* relativo al primo. La trasformazione, svincolata così da particolari modelli, assume un ruolo fondamentale nell'interpretazione dei fatti sperimentali e, di fatto, diventa il fondamento della teoria della relatività speciale. Il punto che a noi pare essenziale nelle due diverse interpretazioni delle LT sta nel fatto che nel caso newtoniano (modello di propagazione di onde elastiche in mezzi isotropi e omogenei) la trasformazione fa corrispondere due *diversi eventi* fisici (descritti da coordinate relative a due osservatori che assumono il tempo come variabile assoluta). Mentre nel caso relativistico (einsteiniano) la corrispondenza presume di collegare le coordinate di uno *stesso evento* (che assume un significato assoluto) descritto da due set di coordinate (relative a due osservatori che procedono alla definizione di un tempo locale – non assoluto – attraverso una procedura di sincronizzazione di orologi solidali ai rispettivi assi di coordinate). Nel caso newtoniano il tempo scorre in modo assoluto – cioè indipendente dall'osservatore – e, pertanto, il parametro temporale è l'unico criterio di ordine degli eventi. Nel caso relativistico, un tempo assoluto non è definito e, pertanto, la corrispondenza tra i due insiemi di coordinate (relative a osservatori in moto relativo uniforme) seguirebbe dal postulato della indipendenza della velocità della luce dall'osservatore e dalla sincronizzazione di orologi in quiete nei rispettivi sistemi. È noto che Einstein assume un procedimento di sincronizzazione degli orologi, in un dato sistema di coordinate, con raggi di luce e definendo che il tempo di andata e ritorno del raggio che percorra lo spazio tra due rivelatori posti nelle vicinanze degli orologi da sincronizzare sia uguale. Questa sincronizzazione si assume priva di contraddizione e per quanti si vogliano orologi che siano in quiete nei rispettivi sistemi. Sincronizzati gli orologi rispetto a un dato sistema di coordinate non è possibile procedere ad un confronto tra i tempi di eventi relativi al sistema dato e quelli relativi ad un altro sistema di coordinate che sia animato di moto uniforme rispetto al primo, senza una qualche convenzione. Einstein (6) applicando la cinematica del moto uniforme a un raggio di luce che si fa propagare come un oggetto balistico e assumendo il postulato dell'indipendenza della velocità della luce dal moto dell'osservatore, deduce che eventi spazialmente distinti che sono contemporanei in un sistema di coordinate (considerato in quiete) non sono più contemporanei quando osservati dal sistema di coordinate in moto relativo rispetto al primo. E che quindi alla nozione di *contemporaneità tra due eventi* non può essere attribuito nessun significato assoluto. La dimostrazione di Einstein appare disarmante e non ha incontrato (a nostra conoscenza) obiezioni. Senza entrare nei dettagli di questa dimostrazione, notiamo che i semplici calcoli cinematici prodotti da Einstein richiedono (senza che ne sia data alcuna nota esplicativa) delle ipotesi nascoste per nulla innocenti. In primo luogo, la caratteristica ondulatoria della propagazione è del tutto trascurata nel procedimento di Einstein. Non vien fatto riferimento allo stato di quiete o di moto della sorgente che produce il raggio di luce. Né si fa riferimento allo stato di quiete o di moto dei rivelatori (o degli specchi riflettenti). Pertanto il procedimento di Einstein trascurando completamente la natura ondulatoria della luce e la natura fisica di sorgenti e rivelatori, evita del tutto l'effetto Doppler sulla variazione delle frequenze dell'onda rispetto ai moti relativi tra sorgente e rivelatore. Un tale procedimento puramente ci-

nematico obbliga a trascurare del tutto i processi fisici di rivelazione/emissione della luce da parte di rivelatori/sorgenti sensibili alla frequenza.

4. Conclusioni

Abbiamo accennato alla critica del Somigliana sull'interpretazione della trasformazione di Lorentz in relatività speciale. Questa critica mostra la priorità storica del Voigt (1887) nell'introduzione della trasformazione di Lorentz nello studio dei fenomeni ondulatori – acustici ed elettromagnetici – in special modo per l'interpretazione dell'effetto Doppler. Il Somigliana, partendo da queste considerazioni, nega che dalle proprietà della trasformazione di Lorentz possa dedursi un'interpretazione in favore della relatività einsteiniana. Riteniamo che la conclusione cui perviene il Somigliana abbia una validità logico-sperimentale rilevante, alla quale non è stato dato il giusto riconoscimento. Ma il lavoro del Somigliana spinge ad altre considerazioni non contenute in modo esplicito nella sua critica. Riteniamo che l'aspetto più importante tra le due diverse interpretazioni delle LT, e cioè l'interpretazione newtoniana e interpretazione einsteiniana, consista nel fatto che la prima porta a considerare la corrispondenza stabilita dalla LT, come corrispondenza tra *eventi diversi*, mentre l'interpretazione einsteiniana stabilisce una corrispondenza tra coordinate relative allo *stesso evento*, con ciò azzerando la nozione di contemporaneità degli eventi come assunta nella fisica classica. Questa diversità d'interpretazione rende inconciliabile il punto di vista classico con quello relativistico anche nel limite estremo di valori della velocità di particelle trascurabili in rapporto alla velocità della luce. D'altra parte il procedimento di sincronizzazione di Einstein trascura completamente la natura ondulatoria della luce e con questa l'effetto Doppler sulle frequenze. A nostro avviso, una tale *idealizzazione* del processo è in contrasto con le proprietà fisiche delle sorgenti e dei rivelatori. Pertanto concludiamo con una importante osservazione di P.W. Bridgmann (1977, p. 163):

... Praticamente tutto il nostro pensiero intorno ai fenomeni ottici (propagazione della luce) si impernia su un modello, mediante il quale questi fenomeni vengono assimilati a quelli dell'esperienza meccanica ordinaria e così resi più accessibili all'esperienza... Dal punto di vista operativo è privo di senso l'attribuire una realtà fisica alla luce nello spazio intermedio tra sorgente e rivelatore e bisogna riconoscere che la luce come cosa che viaggia è soltanto un'invenzione... questa idea della luce è fondamentale in tutto lo svolgimento della relatività ristretta.

Bibliografia

- Bridgmann P.W. (1977). *La logica della fisica moderna*. Torino: Boringhieri.
- Einstein A. (1905). “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”. *Annalen der Physik*, 17, pp. 891-921.
- Heras R. (2014), *Voigt's transformations in the beginning of the relativistic era* [online]. URL: < <http://arxiv.org/abs/1411.2559> > [data di accesso: 01/04/2016].

- Morse P.M., Ingard K.U. (1986). *Theoretical Acoustics*. Princeton: Princeton University Press.
- Pauli W. (2008). *Teoria della relatività*. Torino: Boringhieri.
- Somigliana C. (1922). “Sulla trasformazione di Lorentz”. *Rendiconti dell’Accademia dei Lincei*, XXXI, pp. 471-472.
- Somigliana C. (1923). “I fondamenti della relatività”. *Scientia*, 17 (34), pp. 1-3.
- Voigt W. (1887). *Über das Doppler’sche Prinzip*. Göttingen: Nachrichten der Königliche Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.