Luigi Galgani

EINSTEIN E POINCARÉ

RIASSUNTO: Il problema delle relazioni tra Einstein e Poincaré a proposito della teoria della relatività ristretta è stato discusso da diversi autori, in una forma in qualche modo sconcertante. Nella presente breve nota raccolgo, in forma alquanto provvisioria, alcune considerazioni che vado facendo da diversi anni e che a mio parere potrebbero contribuire a chiarire la situazione.

Introduzione.

Cominciamo col rammentare i fatti. Il lavoro di Einstein del 1905 è universalmente noto. Il primo fatto strano è che non sono molte le persone facenti parte della comunità scientifica che siano familiari con i lavori di Poincaré, o addirittura siano informate della loro esistenza. Si tratta anzitutto di due lavori del 1905–1906; il primo è una breve nota ai *Comptes Rendus* di Parigi del 5 giugno, dal titolo "Sulla dinamica dell'elettrone", mentre il secondo è la corrispondente versione estesa, inviata ai *Rendiconti di Palermo* il 23 dello stesso mese e ivi pubblicato nel 1906.[1] Questi due lavori costituiscono la conclusione di una lunga ricerca di Poincaré sui fondamenti dell'elettrodinamica e sul principio di relatività. Particolarmente rilevanti sono un lavoro del 1898 e le comu-

[1] Invece, il lavoro di Einstein giunse agli *Annalen der Physik* il 30 giugno e fu pubblicato il 26 settembre.

nicazioni a due conferenze internazionali (conferenza di fisica, Parigi 1900; conferenza di arti e scienze, St Louis 1904); queste due comunicazioni furono rese accessibili al grande pubblico attraverso la loro riedizione nei due primi famosi libri di Poincaré, rispettivamente *La science et l'hypothèse* (1902), capitolo 10, e *La valeur de la science* (1905), capitoli 2 ed 8, ma il contributo alla conferenza di St. Louis fu anche pubblicato nel 1904 (*Bull. des Sci. Math.* 28, 302 (1904), *La Revue des Idées* 1, 801 (1904)).[2] Si hanno inoltre le successive conferenze "La nuova meccanica" del 1908 e "Lo spazio e il tempo" del 1912, apparse rispettivamente in *Revue Scientifique* 47, 170–179 (1909) e *Scientia* 12, 159–170 (1913), e la seconda anche nel libro *Dernières Pensées*, Flammarion (Parigi, 1913).

Nel lavoro del 1905, rompendo alcuni precedenti indugi che erano rimasti fino al 1904, connessi ad una difficoltà che si presentava nell'incorporare la gravitazione (si veda l'appendice), viene postulato il principio di relatività (esteso all'elettromagnetismo, con la corrispondente costanza della velocità della luce, che viene poi da Poincaré addirittura posta uguale ad 1 in tutti i sistemi di riferimento inerziali), viene interpretato il gruppo di Lorentz come il gruppo di congruenze dello spazio–tempo e in particolare viene dedotta la legge di composizione relativistica delle velocità; inoltre, viene corretta una inesattezza (garbatamente, Poincarè parla di *differenze di secondaria importanza*) di Lorentz riguardo il modo di trasfomarsi di densità di carica e corrente; infine, come già ricordato, viene fatto osservare che anche la gravitazione deve propagarsi

[2] Purtroppo, questi lavori non sono stati ristampati nelle opere di Poincaré. Invece i lavori del 1905, 1906, oltre che nelle opere, dove sono accompagnate da una interessante nota di Lorentz, si trovano ristampati in H. Poincaré, *La nouvelle Mécanique*, J. Gabay (Parigi, 1989). Il lavoro del 1906 è reperibile nel volume H. Poincaré, *Scritti di fisica–matematica*, UTET (Torino), che comprende anche una pregevole introduzione di U. Sanzo; gli scritti epistemologici sono stati invece tradotti a cura di G. Boniolo per i tipi di Piovan.

con la velocità della luce e viene stabilito come deve essere modificata la legge di gravitazione universale per essere compatibile con il principio di relatività (ovvero posta in forma covariante).[3] Per quanto riguarda gli aspetti dinamici, questi vengono trattati con metodi variazionali, nell'ambito di una discussione generale dei vari possibili modelli di elettrone in interazione con il campo elettromagnetico.[4] Tralasciando una analisi dettagliata, che spero di potere compiere in un'altra occasione, mi limito qui a riportare una sola citazione dalla prima pagina del lavoro di Palermo, rimandando all'appendice per citazioni da lavori precedenti: *Sembra che questa impossibilità di mettere in evidenza sperimentale il moto assoluto della terra sia una legge generale della natura; siamo naturalmente portati ad ammettere questa legge, che chiameremo* Il Postulato di Relatività*, e ad ammetterla senza restrizione. Che questo postulato, finora in accordo con l'esperienza, debba essere confermato o infirmato, è in ogni caso interessante vedere quali possano esserne le conseguenze.*

Ecco ora alcuni commenti su questi lavori. Per quanto riguarda questioni di stile, non vi è dubbio che il lavoro di Einstein sia molto più bello, essendo *self-contained*, elegante e forte. In confronto, i lavori di Poincaré presentano uno stile più soffice e in qualche modo più sofisticato. Poincaré, che aveva dato contributi fondamentali alla discussione sulla "realtà" dei vari modelli possibili della geometria,[5] aveva ben

---

[3] Si veda anche la discussione di questo punto riportata in B.Dubrovin, S. Novikov, A. Fomenko, *Geometria contemporanea*, MIR (Mosca, 1979), Vol. I, paragrafo 39.2.

[4] Tra l'altro, vengono qui introdotti i famosi "sforzi di Poincaré", la cui natura e la cui rilevanza appaiono a tutt'oggi ancora non chiare. Tuttavia, da questa discussione emerge (si veda il paragrafo 8) che l'azione S per l'elettrone deve avere la corretta forma, ovvero $-mc^2 \int \sqrt{1 - v^2/c^2} dt$ (l'azione per unità di tempo è denotata con H e la velocità della luce c è posta uguale ad 1.)

[5] Si veda H. Poincaré, *On the foundations of geometry*, *The Monist* V 9, 1–43 (1898), corrispondente a *La science et l'hypothèse*, cap V.

chiaro in mente che postulando l'estensione del principio di relatività all'elettrodinamica egli stava soltanto considerando un possibile modello, dal quale voleva estrarre tutte le conseguenze, mentre in Einstein si palesa chiaramente la convinzione dell'autore di proclamare una nuova teoria. Così i lavori di Poincaré sono di più difficile lettura di quello di Einstein: alcune delicate questioni sono disperse in articoli o libri rivolti a filosofi o al grande pubblico, e il lavoro più importante (sui Rendiconti di Palermo) ha come oggetto principale il problema di scegliere fra diversi possibili modelli dell'elettrone; tra l'altro, si trattava poi di lavori di un matematico francese, in un periodo in cui la fisica era prevalentemente tedesca. Ma non vi è alcun dubbio che la teoria della relatività ristretta, concepita come un modello fisico–matematico della natura, venne formulata in maniera equivalente da Poincaré e da Einstein.

Ora, quali sono le opinioni che si possono trovare espresse a questo proposito? Tra i matematici, con la rilevante eccezione di H. Weyl che nel suo magnifico libro *Raum Zeit Materie* non cita neppure Poincaré, i lavori di questi ricevettero la considerazione dovuta. Per esempio Felix Klein, nel suo famoso libro *Lezioni sullo sviluppo della matematica nel 19-esimo secolo* dice (Vol II, pag 73): *... Ora viene l'anno 1905 con le fondamentali pubblicazioni di Poincaré ed Einstein, apparse indipendentemante l'una dall'altra. ....* Nel confrontare i due contributi, egli poi attribuisce ad Einstein il merito di aver posto in evidenza le novità richieste dalla relatività riguardo le concezioni "filosofiche", particolarmente la concezione del tempo, con la non assolutezza della contemporaneità. Su questo punto ritornerò più sotto. Infine, E.T. Whittaker, nella sua monumentale opera *A history of the theories of aether and electricity* andò ancora più lontano. Infatti, sulla base del fatto che il principio di relatività fu enunciato da Poincaré diversi anni prima di Einstein, e che le conseguenze cinematiche di tale principio vennero poi tratte esplicitamente da Poincaré stesso un mese prima del lavoro di Einstein, Whittaker conclude che la teoria della relatività speciale debba essere attribuita a Poincaré, mentre si dovrebbero attribuire ad Einstein solo due applicazioni particolari, ovvero quelle dell'aberrazione e dell'effetto Doppler (oltre naturalmente a tutta la relatività generale).

Per quanto riguarda invece i fisici, molto semplicemente si può dire che in generale essi sembrano poco familiari con i lavori di Poincaré. Molto curiosa a questo proposito è la ben nota storia di M. Born, come appare da una delle sue lettere ad Einstein, in cui gli comunicava di essere venuto a conoscenza dell'opinione di Whittaker. Infatti Born mostrava chiaramente di essere incapace di esprimere egli stesso un giudizio indipendente,[6] e d'altra parte era strana anche la risposta di Einstein, in quanto questi si rifiutava, si direbbe con superiore signorilità, di fare qualsiasi commento. Qualcosa di simile accadde anche tra Einstein e A. Pais. Infatti, nel suo noto libro *Sottile è il Signore*,[7] questi ricorda come egli avesse chiesto ad Einstein, agli inizi degli anni 50, se avesse mai letto l'articolo di Poincaré sui Rendiconti di Palermo. Einstein rispose di no, e ancora rifiutò di fare alcun commento.[8] Ma, a differenza di Born, Pais formulò invece un giudizio, ed alquanto netto: perchè, avendo egli stesso studiato la questione, concluse che *Poincaré non comprese mai la*

---

[6] Ma in seguito Born ebbe a dire: *Il ragionamento usato da Poincaré era proprio lo stesso che Einstein utilizzò nella sua prima memoria del 1905. ... Questo significa forse che Poincaré aveva compreso tutto ciò prima di Einstein? E' possibile.* Si tratta della conferenza di Berna del 1955 per il cinquantenario della relatività speciale, in cui il compito di parlare di Poincaré e Lorentz toccò a Born, che però, a giudizio di Pais, *non si comportò molto bene*!. Si veda *Helv. Phys. Acta Suppl. 4, 244 (1956).*

[7] Ringrazio Niccolò Guicciardini per avermi messo a conoscenza, già alcuni anni fa, della discussione svolta da Pais nel suo libro.

[8] Molto bella è tutta la pagina dedicata da Pais a questo fatto, con la descrizione della reticenza di Einstein a parlare di Poincaré in due altre occasioni.

relatività ristretta. [9]

A questo proposito vorrei affermare quanto segue. Da un lato, il giudizio di Pais è chiaramente infelice,[10] ed Einstein stesso, come cercheró di mostrare più sotto, avrebbe reagito molto duramente contro una tale mancanza, verrebbe voglia di dire, di sottigliezza.[11] D'altra parte, se Poincaré, come è ovvio, aveva capito la relatività, allora se ne dovrebbe attribuire a lui il merito della scoperta, e Whittaker avrebbe ragione. Ma questa conclusione, per quanto filologicamente legittima, appare chiaramente non consona, e l'opinione più moderata di Klein, *halh and half*, metà a Poincaré e metà ad Einstein, sembrerebbe più appropriata.

Tuttavia, una tale equa conclusione lascia certamente un poco insoddisfatti, perché si vorrebbe sapere come sia potuto accadere che due autori siano giunti indipendentemente alla stessa conclusione, quasi contemporaneamente, e si percepisce

---

[9] Pais dice addirittura di averne trovato la dimostrazione. Nel sottoparagrafo *Poincaré e la terza ipotesi* egli dice infatti: *E' evidente che, ancora nel 1909, Poincaré non aveva compreso che la contrazione dei regoli è una conseguenza dei due postulati di Einstein.* E poi soggiunge ... *Poincaré dunque non comprese mai uno dei punti fondamentali della relatività ristretta.* Si tratta a mio parere di un equivoco, dovuto probabilmente alla non graande familiarità di Pais con la terminologia di Poincaré riguardo ipotesi e convenzioni.

[10] Infatti, il giudizio di Pais potrebbe essere sostanzialmente corretto per Lorentz, ma non certo per Poincaré. Perché una volta postulato il principio di relatività esteso all'elettromagnetismo, come appunto fece Poincaré rispetto a Lorentz, e stabilito che il corrispondente gruppo di congruenze (o isometrie) è il gruppo di Lorentz, non vi è più nulla da dire. Poincaré sapeva da sempre che assegnare il gruppo di congruenze vuol dire assegnare la geometria, ed è quindi ovvio, per chi sia un poco familiare con le opere di Poincaré, che egli interpretasse il gruppo di Lorentz come definente la geometria dello spazio–tempo sulla base del principio di relatività.

[11] Bisogna tuttavia riconoscere che Einstein stesso diede un contributo alla formulazione di un simile giudizio, perché nel 1911 ebbe ad esprimersi nel modo seguente: *Poincaré era in generale del tutto ostile* (alla teoria della relatività) *e, nonostante la sua acutezza, dimostrava scarsa comprensione della situazione.* Dal che Pais deduce: *E' evidente, ancora una volta, che Poincaré non comprese mai la teoria della relatività ristretta, o non l'accettò mai.*

chiaramente che si deve aggiungere qualche spiegazione. Cercherò di mostrare qui che è Einstein stesso a rivelarla. La tesi è che Einstein conosceva perfettamente gli scritti di Poincaré in cui fu esposto il principio di relatività (con il corrispondente carattere relativo della simultaneità), inteso filosoficamente nell'ambito del suo convenzionalismo, cui Einstein mostrava di aderire completamente. Questa adesione giunse fino al punto che Einstein entrò, quasi letteralmente, nello spirito di Poincaré, e come si potrebbe dire ed egli stesso infatti ebbe a dire, "si sostituì " a Poincaré. In tal modo, con la sua geniale intelligenza, in breve tempo egli fu in grado di recepire completamente il principio di relatività, che Poincaré fino al 1904 aveva esposto in forma ancora dubitativa (la ragione, legata al problema della gravitazione, sarà ricordata sotto, in appendice), e per caso Einstein giunse a enunciarlo senza reticenze solo un mese dopo che lo avesse fatto Poincaré stesso, pur se ancora in forma in qualche modo ipotetica,[12] nella sua nota sui Comptes Rendues. Si potrebbe dire che la baldanza giovanile del nuovo secolo, in Einstein, sia partita esattamente dove la critica sofisticata e sottile del vecchio secolo era pervenuta, a fatica, con Poincaré; o, ancora che Einstein, sostituendosi a Poincaré, ne abbia forzato le conclusioni, portandole dal mondo delle concezioni matematiche e filosofiche a quello, più piatto e concreto, della fisica militante.[13]

---

[12] A questo proposito si veda specialmente la parte finale dell'introduzione dell'articolo di Palermo, con il significativo confronto, apparentemente paradossale, con la rivoluzione copernicana. Tra l'altro, questo conferma almeno come Poincaré fosse ben conscio di stare operando una rivoluzione.

[13] La differenza di stile tra Poincaré ed Einstein, tanto messa in rilievo da Pais ed altri, andò poi in qualche modo crescendo negli anni successivi al 1905. Ciò è ben documentato dalla conferenza di Poincaré *L'espace et le temps* del 1912 riportata in *Scientia* 12, 159–170 (1912) e in un capitolo dei *Dernières Pensées*. Si veda anche la discussione in E. Scholz, *Geschichte des Mannigfaltigkeitsbegriffs von Riemann bis Poincaré*, Birkhäuser (Boston, 1980), cap. 4.2.2. E' questo un argomento alquanto interessante, su cui spero di poter ritornare in futuro.

Le poche citazioni da Einstein e Poincaré che riprodurrò sotto sono a mio parere chiara dimostrazione della correttezza di questa ricostruzione. Resta allora il problema di immaginare quale debba essere stata la reazione di Einstein nel leggere la memoria di Poincaré del 1905. Perché anzitutto, non vi è dubbio che qualche volta egli la debba aver letta; se infatti si ammette, come mi sembra ovvio e illustrerò sotto, che aveva letto e meditato le altre, non vi è ragione che dovesse smettere proprio nel 1905.[14] E' molto spontaneo immaginare che Einstein debba essere rimasto deluso e dispiaciuto, perché nel sostituirsi a Poincaré egli doveva averlo in qualche modo rimosso, mentre era costretto ora ad ammettere che Poincaré esisteva. Così mi figuro che egli abbia continuato sostanzialmente a rimuoverlo, e che questa sia stata la sua umana, ben comprensibile, debolezza.[15] Ma tale umana debolezza, che in qualche modo persistette fino al termine della sua vita, come documentato dalla testimonianza di Pais, fu superata nella più importante occasione della sua vita, quella in cui egli stesso ebbe a scrivere il "suo proprio discorso funebre",[16] e di fronte a Reichenbach, che aveva criticato Poincaré, non potette resistere e replicò nel modo liberatorio che ricorderò sotto.

I dialoghi di Einstein con Poincaré.

---

[14] Questo dubbio è sorto anche a Pais, che nel suo libro, dopo aver riportato la risposta negativa di Einstein alla sua domanda se avesse mai letto la memoria di Poincaré, soggiunge, chissà in base a quale argomento: *Ma forse in realtà l'aveva letta.*

[15] In ogni caso, una debolezza ben inferiore a quelle di Newton, così ben descritte nel recente libro di V.I. Arnol'd, *Huygens and Barrow, Newton and Hooke*, Birkhäuser (Basel, 1990), pag. 51.

[16] In *A. Einstein philosopher–scientist*, P.A. Schilpp ed., Harper (New York, 1959).

Vorrei qui attirare l'attenzione sui tre seguenti dialoghi, avvenuti in forme diverse.

a) Un dialogo a distanza: sul carattere relativo della simultaneità e sulla regolazione (o sincronizzazione) degli orologi.

Per quanto riguarda il carattere relativo della simultaneità, nel capitolo 2, *La mesure du temps*, del libro *La valeur de la science*, corrispondente a *Revue de métaphysique et de morale* 6, 371–384 (1898), è detto fra l'altro:[17]

Egli (l'astronomo) ha iniziato con l'ammettere che la luce ha una velocità costante. E' questo un postulato senza il quale non si potrebbe tentare alcuna misura di questa velocità.... (tale postulato) ci fornisce una regola nuova per la ricerca della simultaneità....

Non abbiamo l'intuizione diretta della simultaneità, non più di quella dell'uguaglianza delle durate....

Scegliamo dunque queste regole non perché sono vere, ma perché sono le più comode, e potremmo riassumerle dicendo: La simultaneità di due eventi, o l'ordine della loro successione, e l'uguaglianza di due durate, devono essere definite in modo tale che l'enunciato delle leggi naturali sia il più semplice possibile. In altri termini, tutte queste regole, tutte queste definizioni, sono solo il frutto di un opportunismo inconsapevole.

E' interessante anche il seguente passaggio: *E' allora attraverso il tempo che definiamo la causa. Come trarsi d'impaccio da questa petitio principii?.... Si uscirà da questo circolo vizioso?* perché esso si ritrova quasi uguale in Einstein, che, nella sua esposizione divulgativa, nel medesimo contesto afferma: *Una verifica di questa ipotesi sarebbe però possibile se avessimo già a nostra disposizione i mezzi per misurare il tempo. Si direbbe dunque che ci muoviamo in un circolo*

[17] Una interessante anticipazione del carattere relativo della simultaneità, a quanto sembra non molto nota, si trova in Schopenhauer, come mostrato dalla citazione riportata qui in appendice.

vizioso.

Non molti sembrano essere a conoscenza del fatto che il ben noto procedimento di sincronizzazione degli orologi descritto da Einstein appare sostanzialmente come una parafrasi estesa della corrispondente descrizione datane da Poincaré, quando parla del cosiddetto *tempo locale*.[18] Questi, nella conferenza di St. Louis (si veda *La valeur de la science*) dice: *Supponiamo, ad esempio, che la stazione A invii il suo segnale quando il suo orologio segna l'ora zero, e che la stazione B lo riceva quando il suo orologio segna l'ora t. Gli orologi sono regolati se il ritardo uguale a t rappresenta la durata della trasmissione, e per verificarlo la stazione B spedisce a sua volta un segnale quando il suo orologio segna zero; la stazione A deve allora riceverlo quando il suo orologio segna t. Allora gli orologi sono regolati.*[19]

In Einstein (1905) questa descrizione diviene: *Ma non è possibile, senza ulteriori convenzioni, confrontare rispetto al tempo un evento in A e un evento in B; abbiamo finora definito un "tempo A" e un "tempo B", ma non un tempo comune ad A e B. Per questo occorre stabilire, per definizione, che il "tempo" che la luce impiega nel percorso da A a B è uguale al "tempo" che essa impiega nel percorso da B ad A. Supponiamo che un raggio di luce partito da A, diretto verso B, al "tempo A"* t_A, *venga, in B, riflesso verso A al "tempo B"* t_B *e giunga nuovamente in A al tempo* t'_A. *Per definizione, i due orologi sono sincronizzati quando* $t_B - t_A = t'_A - t_B$.

b) Il dialogo, quasi esplicito, con lo "sprezzante interlocutore":

[18] E' considerevole tuttavia la differenza di tono che si riscontra in Einstein, perchè in Poincaré il tempo locale sembrerebbe apparire ancora (nel 1904) come un espediente (che, tra l'altro, Poincaré attribuiva completamente a Lorentz).

[19] Si veda anche la discussione successiva, che riguarda il caso in cui le due stazioni sono in moto relativo. Si tenga presente che questo passaggio delicato non sempre viene tradotto correttamente.

ancora sulla sincronizzazione degli orologi.

Nel brano di Einstein appena riportato è molto rilevante che egli parli esplicitamente di convenzione, presumibilmente da intendersi come termine tecnico nel ben noto senso di Poincaré. Ma il fatto che Einstein avesse ben in mente Poincaré quando scrisse il passaggio citato sopra è a mio parere chiaramente confermato dall'analoga discussione della sincronizzazione che Einstein dà nella sua famosa esposizione divulgativa della relatività (paragrafo 8: *Sul concetto di tempo in fisica*). Infatti, egli riporta un dialogo molto curioso con uno "sprezzante interlocutore" il quale dice: *Che la luce richieda lo stesso tempo per andare da A ad M che da B ad M in realtà non è né una supposizione né una ipotesi sulla natura della luce, ma piuttosto una convenzione che posso liberamente fare per definire la simultaneità.* Tale interlocutore è ovviamente Poincaré, perché il termine convenzione era usato solo da lui, nel suo ben noto senso tecnico, e inoltre Einstein lo aveva appena parafrasato una pagina prima. Quello che è curioso è che in questo momento ci si aspetterebbe una risposta di Einstein all'obiezione sollevata dal suo "sprezzante interlocutore", mentre invece Einstein si limita a procedere come se non vi fosse alcuna obiezione. Non ho il tempo di entrare qui in un esame particolareggiato di queste due pagine di Einstein; quello che voglio dire è che, se le si legge avendo prima letto la corrispondente pagina di Poincaré alla conferenza di St. Louis, si resta con la chiara impressione che nelle pagine di Einstein i due interlocutori divengano, riga dopo riga, la stessa persona. Ad esempio, nella frase finale Einstein dice egli stesso: *Questa convenzione contiene un'altra ipotesi fisica...*

c) Il dialogo finale.

Ma questa sostituzione di persona è manifestata da Einstein stesso, durante un intenso crescendo, in una delle "Risposte ai contributi" che seguono le sue note autobiografiche.[20] Infatti, nel suo saggio *Significato filosofico della relatività* Reichenbach aveva duramente criticato Poincaré dicendo (pag. 297): *Vi è un'altra confusione che può essere attribuita alla teoria del convenzionalismo di Poincaré........ (questi) credeva che la definizione di corpo solido non potesse essere data senza fare riferimento a una geometria. Che questa concezione sia sbagliata è mostrato nell'opera del presente autore "Phylosopie der Raum–Zeit Lehre" (Berlino, 1928).*

Ed Einstein, che fino ad allora non aveva mai neppure menzionato Poincaré, ora sentì il bisogno si sollevarsi, dicendo: *... Poincaré ... is comdemned by Reichenbach. ..... Now the following short conversation takes place. Poincaré ..... Reichenbach ..... Poincaré ..... (The conversation cannot be continued in this fashion, because the respect of the present writer for Poincaré's superiority as thinker and author does not permit it; in what follows therefore an anonymous non positivist is substituted for Poincaré). Reichenbach ...... Non positivist .....* E il nonpositivista è ovviamente Einstein stesso. Ciò in ogni caso è rivelato esplicitamente nel paragrafo successivo, in cui si passa dal dialogo letterario al dialogo diretto, con Einstein che dice, rivolto alla persona che gli sta davanti: *It seems to me, moreover, that you have not at all done justice ...*, sicché a questo punto la sostituzione di persona è completa e palese.

Un tentativo di conclusione, provvisoria.

Spero dunque di essere riuscito a trasmettere questa mia tesi riguardo le modalità (sostituzione quasi fisica) con cui è

[20] Ringrazio il mio amico Carlo Cercignani per avermi segnalato l'esistenza di questo passaggio.

avvenuto, al volgere del secolo, l'incontro tra due geni, Einstein e Poincaré, con le corrispondenti ambiguità, con Einstein che in qualche modo lo nasconde[21] e Poincaré che sembra avere paura di riconoscersi nel suo nuovo aspetto.[22]

Un altro punto importante che si deve tener presente è come la fisica militante avesse necessità di prescrizioni semplici al di fuori di discussioni troppo sofisticate sul ruolo delle ipotesi nella scienza, e quindi dovesse riconoscersi in Einstein ignorando Poincaré. Tuttavia, mi pare che il significato filosofico generale del convenzionalismo di Poincaré dovrebbe essere riconsiderato in maniera adeguata, anche se purtroppo mi sembra che siano poche le persone (se ne esistono) dotate della necessaria cultura sia filosofica sia scientifica. Potrebbe anche essere utile, a questo scopo, condurre uno studio sull'atteggiamento di Poincaré di fronte al problema delle relazioni tra teorie cinetiche, o in generale meccanicistiche, e termodinamica; qualche osservazione è riportata in appendice.

APPENDICE: il principio di relatività in Poincaré, e altre osservazioni

a) Poincaré e il principio di relatività

Riporto qui alcune citazioni, in aggiunta a quella dall'articolo di Palermo riferita sopra. Alla conferenza di Parigi egli disse: *E il nostro etere, esiste esso realmente? ..... Devo spiegare, in effetti, perché non credo, malgrado Lorentz, che delle osservazioni più precise possano mai mettere in evidenza alcunché di diverso dagli spostamenti relativi dei corpi materiali .....* Poi, dopo avere ricordato le spiegazioni escogitate per rendere conto delle compensazioni che consentono di non os-

[21] Si ricordino le reticenze di cui parla Pais.

[22] Si veda il capitolo *L'espace et le temps* nei *Dernières Pensées.*

servare il moto assoluto, aggiunge: *Non sarebbe anche un caso questo singolare concorso che farebbe sì che una circostanza giungesse al momento opportuno per annullare i termini del primo ordine, e che un'altra circostanza, completamente diversa, si incaricasse di annullare quelli del secondo ordine?. No, bisogna trovare una stessa spiegazione per gli uni e per gli altri, e allora tutto ci porta a pensare che questa spiegazione varrà ugualmente per i termini d'ordine superiore, e che la distruzione mutua di questi termini sarà rigorosa e assoluta.*

E questa "spiegazione", come si evince chiaramente dal contesto, è il *Principio di relatività*, cui fu poi dedicato esplicitamente un paragrafo nella conferenza di St. Louis. Nel testo riportato in *La valeur de la science* si legge: *Da tutti questi risultati, se confermati, uscirebbe una meccanica interamente nuova che sarebbe soprattutto caratterizzata dal fatto che nessuna velocità potrebbe superare quella della luce, come nessuna temperatura può scendere al di là dello zero assoluto. Per un osservatore, trasportato in una traslazione di cui non dubita, nessuna velocità apparente potrebbe superare quella della luce; e ciò sarebbe una contraddizione se non si rammentasse che un tale osservatore non si servirebbe degli stessi orologi di un osservatore fisso, ma di orologi che seguono il tempo locale* (cioè il tempo definito mediante la regolazione, o sincronizzazione, degli orologi, come ricordato sopra). E ancora: *Dovremmo costruire tutta una nuova meccanica che ora intravediamo soltanto e nella quale, crescendo l'inerzia con la velocità, la velocità della luce diventerebbe un limite insuperabile .... La meccanica volgare, più semplice, resterebbe una prima approssimazione, perché sarebbe vera per velocità che non fossero molto grandi.*[23]

---

[23] Stranamente, nel libro *La valeur de la Science* non trovo la seguente frase, riportata da Whittaker, e che forse si trova nel *Bull. des Sc. Math.*, che non ho potuto consultare: *Secondo il principio di relatività le leggi dei fenomeni fisici devono essere le stesse per un osservatore "fisso" e per un osservatore che ha un moto di traslazione uniforme rispetto ad esso; cosicché non abbiamo e non possiamo*

Ma nel 1904 Poincaré lascia ancora aperta la possibilità che esistano segnali propagantisi più velocemente della luce,[24] perché egli aveva ben presente che il problema era stato studiato da Laplace, e che questi era giunto alla conclusione che la gravità si debba propagare molto più velocemente (qualche milione di volte) della luce.[25] Coerentemente, Poincaré faceva allora rilevare come questa circostanza avrebbe permesso di *mettere in evidenza la traslazione comune delle due stazioni*, contro il principio di relatività.

E' soltanto un anno dopo, nell'articolo del 1905 pubblicato poco prima di quello di Einstein, che egli enunciò in maniera definitiva il postulato di relatività, naturalmente inteso come corrispondente a un modello matematico, di cui verificare a posteriori la eventuale utilità. Infatti egli aveva nel frattempo capito che le osservazioni cui si riferiva Laplace sono compatibili con il propagarsi delle azioni gravitazionali proprio alla velocità della luce, quando si tenga conto del corrispondente ritardo tra l'atto dell'emissione e quello della ricezione. Solo allora, dunque, egli enunciò con fermezza il principio di relatività, e anzi mostrò come si dovesse modificare la legge di gravitazione universale in modo che fosse compatibile con il principio di relatività.

Nella conferenza del 1908 Poincaré accennò poi al problema degli effetti che questa modificazione della legge di gravitazione universale apporterebbe al moto dei pianeti, affermando che si avrebbero variazioni apprezzabili solo per Mer-

---

avere alcun modo per sapere se siamo o no trasportati in questo moto.

[24] Si veda la fine del paragrafo: *Il principio di relatività*, in *La valeur de la science.*

[25] P.S. Laplace, *Exposition du système du monde*, pag. 558. Si veda anche la discussione datane da Poincaré nella conferenza del 1908 *La nuova meccanica*, *Revue scientifique* 47, 170–179 (1909). Qui, in particolare, viene illustrato come la "nuova meccanica", ovvero la relatività ristretta, renda conto di una parte (solo 6 secondi, mentre ne restano altri 32) dell'avanzamento del perielio di Mercurio.

curio. In particolare, per il perielio si avrebbe un avanzamento di 6 secondi, a fronte dei 38 osservati, sicché *la nuova meccanica non è quindi sufficiente per condurre a un accordo con la teoria di Mercurio.* Per incorporare la gravità nella teoria della relatività si dovette dunque attendere Einstein.

Per un'analisi del modo in cui Poincaré pervenne al principio di relatività sono particolarmente interessanti anche la parte finale dell'articolo *La teoria di Lorentz e il principio di reazione*, presentato al Lorentz Festschrift del 1900, e l'articolo *A proposito della teoria di Larmor*, in *L'éclairage électrique* n. 5. Si noti che l'articolo del 1900 era certamente conosciuto da Einstein nel 1906 (si veda sotto).

b) Ancora sulla conferenza di St. Louis

Nella conferenza di St. Louis vi sono altri passaggi interessanti, che potrebbero avere avuto una qualche influenza sui lavori di Einstein del 1905. Precisamente:

i) Sul moto browniano. ..... *E' il contrario del principio di Carnot. ..... I corpi troppo grossi ... sono urtati da tutti i lati dagli atomi in movimento, ma essi non si muovono, perché questi urti sono molto numerosi, e la legge del caso vuole che essi si compensino; ma le particelle più piccole ricevono troppo pochi urti perché questa compensazione avvenga a colpo sicuro, e sono mosse incessantemente.*

ii) Verso i fotoni e la relazione massa–energia. ... *L'apparecchio (che emette luce in maniera direzionale) rinculerà come se fosse un cannone e come se l'energia che ha proiettato fosse una palla ... il nostro proiettile qui non ha massa, non è materia, è energia ... Questo faro dovrà rinculare come se la luce che esso invia fosse un proiettile.* Questo fatto qualitativo discende dall'importante contributo di Poincaré al Lorentz Festschrift del 1900, dove si dice: *Si deve concludere che se qualche mezzo, dopo aver prodotto energia elettromagnetica, invia radiazione in qualche direzione, questo mezzo rincula come un cannone quando lancia un proiettile.*

c) Altre osservazioni

i) A quanto mi consta, nei suoi lavori scientifici Einstein ha citato una sola volta Poincaré. Si tratta del suo terzo lavoro (1906) sulla relatività, ovvero *Il principio della conservazione della velocità del baricentro e l'inerzia dell'energia*, in cui cita il lavoro di Poincaré pubblicato nel *Lorentz Festschrift, 252 (1900).*[26] Questa citazione è sfuggita a Pais, il quale afferma (cap. 8) che *il nome di Poincaré compare una sola volta in uno scritto di Einstein sulla relatività, vale a dire in Geometrie und Erfahrung, il testo di una conferenza del 1921 sulla relatività generale.* Vi è un altro punto in cui sono, forse, in disaccordo con Pais. Si tratta del passo (cap. 6) in cui egli afferma con sicurezza[27] che fino al 1905 Einstein non conoscesse il lavoro di Lorentz del 1904 in cui questi introdusse le sue famose trasformazioni. Quello che mi lascia perplesso è il fatto che il famoso fattore $1/\sqrt{1-v^2/c^2}$, che oggi viene comunemente denotato con la lettera γ, viene denotato da Einstein nell'articolo del 1905 con la lettera β (oggi solitamente usata per denotare v/c), che è esattamente quella usata da Lorentz nel suo articolo.[28] Sembra difficile pensare che sia questa una coincidenza fortuita; si pensi ad esempio che invece Poincaré usa la lettera k, avvertendo che sta usando una notazione diversa rispetto a Lorentz.

ii) Vorrei ora portare due esempi che documentano le dif-

---

[26] *Trotzdem die einfachen formalen Betrachtungen, die zum Nachweis dieser Behauptung durchgeführt werden müssen, in der Hauptsache bereits in einer Arbeit von H. Poincaré enthalten sind, werde ich mich doch der übersichtlichkeit halber nicht auf jene Arbeit stützen.*

[27] *Aveva letto la memoria di Lorentz del 1895 nella quale l'esperienza di Michelson e Morley veniva discussa diffusamente. Non era invece al corrente delle trasformazioni di Lorentz né conosceva alcuno degli scritti di Poincaré che trattano questioni di fisica entrando in particolari di carattere tecnico.*

[28] Chi non disponesse delle opere complete di Lorentz può trovare l'articolo del 1904 nel molto accessibile volume: A. Einstein, *The principle of relativity*, Dover (New York, 1952).

ficoltà che sono state incontrate nel comprendere Poincaré, in due ambiti ben definiti. Il primo riguarda la complessità delle soluzioni delle equazioni differenziali ordinarie (oggi volgarmente descritta come corrispondente al "caos"). Questa complessità fu compresa da Poincaré cent'anni fa, quando scoprì l'esistenza generica di punti omoclini e descrisse in quelle sue pagine ora così famose la struttura del reticolo formato dalle intersezioni delle varietà stabili ed instabili al rompersi delle separatrici (o curve doppiamente asintotiche), ma ancor oggi stenta a trovar posto nell'insegnamento universitario sulle equazioni differenziali.

Il secondo esempio concerne i fondamenti della meccanica statistica. Qui, da una parte Poincaré è noto per la sua dimostrazione (ancor oggi impressionante per la semplicità e la potenza) del teorema di ricorrenza, e questo viene solitamente interpretato come indicante una presunta avversità di Poincaré alle teorie cinetiche di Maxwell e Boltzmann. Ma d'altra parte, pur riconoscendo le difficoltà presenti nelle teorie cinetiche, questi prese sostanzialmente posizione a favore di Maxwell di fronte alla obiezione che Lord Kelvin aveva sollevato contro il teorema di equipartizione di Maxwell.[29] [30]

L'atteggiamento di Poincaré a questo proposito è ben riassunto dalla seguente citazione:[31] *Questa teoria* (la teoria cinetica) *merita gli sforzi che gli inglesi le hanno consacrato?*

---

[29] Si veda la sezione terza del volume di Sanzo citato sopra.

[30] Molto interessante è la discussione che Poincaré compie di un semplicissimo modello proposto da Kelvin; infatti egli fa osservare come il comportamento ordinato o caotico (come si direbbe oggi) dipende dai parametri del modello considerato; dice infatti: *E' possibile e anche verosimile che il postulato di Maxwell* (di equipartizione) *sia vero per certi sistemi e falso per altri, senza che vi sia alcun modo certo per discernere gli uni dagli altri. E' consentito supporre provvisoriamente che esso si applichi ai gas come li concepisce la teoria cinetica; ma questa teoria non sarà solidamente fondata che quando si sarà giustificata questa supposizione, meglio di quanto non lo si sia fatto finora.* Si pensi ai moderni lavori di Sinai e Szasz.

[31] Si veda l'introduzione al lavoro *Sulla teoria cinetica dei gas*, opere vol. X, 246–263.

E' lecito talvolta domandarselo; io dubito, allo stato, che essa possa rendere conto di tutti i fatti conosciuti. Ma non si tratta di sapere se essa è vera; questa parola, per ciò che riguarda una teoria di un tal genere, non ha alcun senso. Si tratta di sapere se la sua fecondità è esaurita, o se essa può ancora essere utile per fare delle scoperte ... Ci si può dunque servire dell'ipotesi cinetica, purché non se ne diventi vittime.

iii) Molto interessante mi sembra il seguente brano di A. Schopenhauer, che appare profetico rispetto alla relatività della simultaneità (in *Il mondo come volontà e rappresentazione*, Mursia (Milano, 1965), libro I, parag. 4): *Ciò che la legge di causalità determina non è dunque la semplice successione degli stati nel tempo puro, ma nel tempo relativo ad uno spazio dato, e parimenti tale legge determina non l'esistenza dei fenomeni in uno spazio puro, ma in uno spazio relativo ad un determinato istante. Il cambiamento, cioè la trasformazione che sopravviene secondo la legge causale, esige dunque in ogni caso che una data parte dello spazio sia in corrispondenza simultanea con una data parte del tempo.*

iv) Desidero infine segnalare che non ho avuto tempo di leggere alcuni lavori che potrebbero presentare qualche interesse. Il primo è A. I. Miller, *Poincaré and Einstein*, in *Imagery in scientific thought creating 20th century physics*, MIT Press (Cambridge, 1987), pag. 13–72, che non ho avuto tempo di consultare, avendolo trovato citato in un articolo inviatomi molto recentemente da A. Rossi: *Kantism, phenomenalism ....*, in F. Bevilacqua ed. *History of physics in Europe in the 19th and 20th century*, SIF (Bologna, 1993), insieme con il suo lavoro *Kantianism and physics in the late 19th century.*

L'altro articolo è E.G. Zahar, *Poincaré's independent discovery of the relativity principle*, Fundamenta Scientiae 4, 147–175 (1983), che mi fu segnalato da N. Guicciardini, e che ho avuto tra le mani solo in questi giorni. L'analisi dell'autore pare corretta ed interessante. L'autore segnala anche come interessante il libro di R. Torretti, *Philosophy of geometry from Riemann to Poincaré*, Reidel (New York, 1978). Spero di avere tempo, qualche volta in futuro, di riprendere questo argomento in maniera più sistematica.