

UNA RILETTURA DEL METODO SCIENTIFICO DI GALILEI. IL CASO DELLA COMPOSIZIONE DELLE VELOCITA' *.

Pietro Di Mauro

*(Liceo Scientifico "E. Fermi" Paternò, Associato INFN Catania,
Gruppo di lavoro Mondotre - La Scuola Italica, Associazione culturale
"Salvatore Notarrigo")*

**in Atti del XLVIII Congresso Nazionale AIF, Mantova 2009 - La Fisica nella Scuola, Bollettino trimestrale dell'AIF, Anno XLIII - Supplemento al n. 4 ottobre - dicembre 2010, pp. 88 - 92, Monotopia Cremonese (CR).*

Spesso si ritiene che l'inizio della scienza moderna coincida con gli studi di Galilei e Newton e con l'affermarsi del cosiddetto metodo scientifico sperimentale galileiano. Il metodo, la via usata per conoscere la realtà, il paradigma della fisica galileiana - newtoniana, si innesta invece nella tradizione della scuola italica (di Pitagora, Parmenide e Democrito), riprendendone gli assunti guida. Scrive infatti Galilei¹: *"Ora per raccor qualche frutto dalle inopinate meraviglie che sino a questa nostra età sono state celate, sarà bene che per l'avvenir si torni a porgere orecchio a quei saggi filosofi che della celeste sustanza diversamente da Aristotele giudicarono!"*

Leggendo le opere di questo gigante della storia del pensiero umano si ricava una idea della scienza, e della fisica in particolare, talvolta diversa da quella imparata. Galilei ritiene, infatti, che la conoscenza scientifica derivi da un processo di astrazione dalle operazioni fisiche elementari (*"con riga e compasso"*) facilmente controllabili, per formare quei postulati fondamentali (proposizioni primitive di certa verità, le nozioni comuni, come le chiamerà successivamente Newton) a partire dai quali, come nella scuola di pensiero italica, con un processo deduttivo e con il linguaggio della logica e della matematica è possibile ricavare le leggi che regolano la natura e prevedere risultati sperimentali.

Scrive Galilei²: *"De i quali accidenti di gravità, di velocità, ed anco di figura, come variabili in modi infiniti, non si può dar ferma scienza: e però, per poter scientificamente trattar cotal materia, bisogna astrar da essi, e ritrovate e dimostrate le conclusioni astratte da gl'impedimenti, servircene, nel praticarlo, con quelle limitazioni che l'esperienza ci verrà insegnando. E non però piccolo sarà l'utile, perché le materie e lor figure saranno elette le men soggette a gl'impedimenti ..."*

Una teoria fisica, dunque, deve partire da "elementi" razionalmente costruiti, dai concetti più elementari con i quali classifichiamo la realtà. Tali concetti, in accordo con Galilei sono quelli di "materia, vuoto, punto, grandezza estensiva e intensiva e le loro unità di misura, quiete e moto definiti da velocità e accelerazione reciproca tra i corpi": con questi è possibile dedurre le leggi che governano la realtà.³ E non sono quelli che, normalmente, si ritrovano nei manuali di fisica utilizzati. Infatti, quasi sempre, invece, le esposizioni della meccanica classica, cominciano, per esempio, col supporre, come ci ricorda tra gli altri Einstein, che *"le leggi della meccanica di Galileo e Newton possono essere formulate solo con l'aiuto di un sistema di coordinate"*⁴ [?!]. (Introdotti da Eulero e Lagrange postulandoli come ipotesi fondamentale! E subito dopo si afferma che tale sistema di riferimento debba essere inerziale, trovando grosse difficoltà nel cercare di stabilire che cosa sia un sistema inerziale!).

E' "scientifica", dunque, la spiegazione dei fatti, la teoria, non i fatti stessi, le misure delle grandezze che potrebbero essere interpretati in tantissimi modi. Chiarisce Vailati, allievo di Peano (a proposito di Galilei e Newton)⁵: *"Le esperienze non si presentano che come delle semplici verifiche di conclusioni alle quali gli sperimentatori erano già arrivati indipendentemente da esse."*

Grande sarebbe stato il loro stupore se le risposte della natura non fossero state conformi alle loro anticipazioni, e tale assenza di conformità, allorché si verificò effettivamente, li indusse piuttosto a domandarsi perché gli esperimenti non erano riusciti, che non a dubitare immediatamente della legittimità delle loro presunzioni”.

E aggiunge: *“Essi sembrano perfino, talvolta, essere indotti all’esperimento più per convincere gli altri che per convincere se stessi, e perché l’appello ai fatti era per loro, in certo modo, la linea di minor resistenza per penetrare nella dura cervice dei loro avversari, ai cui preconcetti, essi non potevano contrapporre senz’altro i propri, senza appoggiare questi a qualche base meno soggettiva di quanto non fosse la loro propria convinzione individuale”.*

A questo servono gli esperimenti in fisica secondo Galilei (e Newton)! Non è l’esperimento che deve convalidare la teoria, ma la teoria (buona!) deve render conto dell’esperimento. E invece, di solito, si fanno passare Galilei e Newton come empiristi, anziché come razionalisti, parlando della fisica solo come “scienza sperimentale”.

Per rimarcare tale concetto è illuminante ciò che Notarrigo riporta in un suo scritto⁶: *“l’osservazione diretta o un qualche esperimento per la verifica dei dogmi scolastici non erano considerati necessari ed è notevole che persino Galilei – il padre della moderna scienza sperimentale – ancora viveva nel paradigma dell’antichità. In una lettera a un suo amico, Galilei scriveva che, tutte le volte che faceva un esperimento, egli già sapeva il risultato prima di effettuarlo. <<Così tu potresti chiedermi perché mai dovrei preoccuparmi di fare l’esperimento? Semplicemente per convincere gli idioti!>>”.*

E’ lo stesso Galilei che in diversi suoi scritti chiarisce il ruolo delle idee, dei concetti rispetto agli esperimenti, ai “fatti”. Per esempio, a proposito dell’esperienza del corpo in caduta libera dall’albero di una nave in moto nel “Dialogo” si legge⁷: *“SIMPL: Che dunque voi non n’avete fatte cento, non che una prova, e l’affermate così francamente per sicura? Io ritorno nella mia incredulità, e nella medesima sicurezza che l’esperienza sia stata fatta da gli autori principali che se ne servono, e che ella mostri quel che essi affermano. SAL: Io senza esperienza son sicuro che l’effetto seguirà come vi dico, perché così è necessario che segua.* Altro che metodo sperimentale della scienza galileiana! La realtà è quella data dagli occhi della mente! (come ripeteva Galilei). Gli esperimenti, i dati empirici, avvertono alcuni (tra i quali, per esempio, Pasteur e lo stesso Vailati) sono osservazioni precedute e accompagnate necessariamente da processi deduttivi.

Come scrive Notarrigo i dati empirici *“non possono servire per fondare la scienza, ma sono tuttavia indispensabili per verificare (o secondo Popper per falsificare) le affermazioni teoriche che derivano logicamente da un’analisi del linguaggio che è il solo mezzo che abbiamo per ricostruire la realtà; non dimenticando mai che tale verifica può solo essere fatta mediante dei modelli matematici, che, in quanto modelli, necessariamente semplificano e idealizzano la complessità propria di ogni osservazione o esperimento”*⁸ (modello è idealizzazione della realtà, sempre più complicata). Esattamente il contrario di ciò che avviene nella fisica moderna. Per dirla con Einstein, si è passati da teorie di tipo *costruttivo*, con metodo deduttivo, a quelle di *principi*, con metodo induttivo.

Sempre nel “Dialogo”, alcune pagine dopo il passo della pietra in caduta dall’albero della nave, Galilei affronta la questione della composizione delle velocità, a proposito della mobilità della Terra, approntando l’esperienza ideale di frecce scoccate da sopra una carrozza in moto⁹: *“Adunque, nello scaricare il bolzone verso il corso della carrozza l’arco imprime i suoi tre gradi di velocità in un bolzone che ne ha già un grado, mercé della carrozza che verso quella parte con tanta velocità lo porta, talché nell’uscir della cocca e’ si trova con quattro gradi di velocità; ed all’incontro, tirando per l’altro verso, il medesimo arco conferisce i suoi medesimi tre gradi in un bolzone che si muove in contrario con un grado, talché nel separarsi dalla corda non gli restano altro che due soli gradi di velocità”*, cioè quella che viene solitamente chiamata addizione classica delle velocità.

Ma con le ricerche di Maxwell ed Hertz, nella seconda metà dell'ottocento, sembrò, per mettere insieme Meccanica ed Elettromagnetismo, di dover supporre che le velocità non si potessero più sommare come normalmente si faceva (la velocità di un raggio di luce in un sistema in moto si può scrivere $w = c \pm kv$, con $k = 0$ per l'elettromagnetismo e $k = 1$ per la meccanica classica o per le teorie emissive di Ritz).

Una delle risposte a tale difficoltà fu la teoria della relatività ristretta di Einstein del 1905 con le sue nuove leggi di composizione delle velocità. E spesso, è proprio a partire da tale difficoltà che si introduce come panacea la relatività, sperimentata, si dice, in moltissimi modi, superando così la fisica di Galilei e Newton.

Dalle trasformazioni di Lorentz, chiaramente, è possibile ricavare la nuova legge di composizione delle velocità (come fa Einstein) e come viene riportato in tutti i manuali.

In alcuni lavori viene trovata la legge di composizione delle velocità apparentemente senza usare le trasformazioni di Lorentz ma usando la dilatazione del tempo relativistica e/o la contrazione delle lunghezze¹⁰.

In alcuni lavori viene trovata, però, la legge di composizione prevista dalla relatività senza usare la relatività, con tutto il suo apparato¹¹.

Con considerazioni puramente cinematiche, confrontando la velocità di una particella con la velocità della luce (ritenuta invariante), rispetto a un altro corpo, di velocità nota, si arriva all'equazione riportata¹² $\frac{c+w}{c-w} = \frac{(c+u)(c+v)}{(c-u)(c-v)}$ da cui si ricava la legge di composizione relativistica tipica della relatività $w = \frac{u+v}{1+uv/c^2}$.

In un mio lavoro del 2002¹³ ho sostenuto che la definizione ordinaria di velocità (in una dimensione $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$) è la stessa dell'equazione per lo spazio delle trasformazioni cosiddette di Galilei e ciò è quantomeno singolare se sono proprio queste che si vogliono cambiare: in relatività non può essere $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$! Inoltre si dice sempre che in relatività spazio e tempo dipendono dalla velocità e con la definizione data si chiude un circolo vizioso!

Nel lavoro citato ho trovato che la definizione di velocità, rispetto ad un osservatore, di un corpo individuato da un raggio di luce ("mezzo" per osservare), che si muove sempre alla stessa velocità c rispetto all'osservatore stesso è data dalla formula $v = c \cdot \frac{\Delta t - \Delta \tau}{\Delta t + \Delta \tau} = c \cdot \frac{1-f}{1+f}$ con

$f = \frac{\Delta \tau}{\Delta t} < 1$, ($\Delta \tau$ è l'intervallo tra gli istanti iniziali considerati per il lancio dei raggi di luce e Δt è l'intervallo tra gli istanti finali di ricezione dello stesso segnale dopo la riflessione sul corpo) ed f si possono considerare i fattori di velocità oggi utilizzati in alcuni recenti lavori¹⁴. Si sta introducendo, cioè, semplicemente il fatto che per osservare la posizione di un corpo e il suo cambiamento, si ha bisogno di un "mezzo": questo è il segnale luminoso caratterizzato dalla velocità costante c , che non è infinita.

Nella dimostrazione fatta nel 2002, per trovare la velocità di un corpo usando la luce come mezzo per conoscere la posizione dello stesso, non è possibile distinguere tra il caso in cui si trova v (velocità rispetto all'osservatore considerato fermo) o $v \pm u$ (rispetto a un osservatore già in moto rispetto ad un altro). In qualunque caso tale velocità deve essere data dalla stessa formula e quindi inferiore a c .

Nel caso di velocità relative, come nel caso del *k-calculus* di Bondi, i fattori velocità si devono moltiplicare tra loro. Infatti dovendosi i fattori di velocità mantenere minori di uno, si possono comporre solo moltiplicandoli tra loro; questo perché bisogna che siano soddisfatte le seguenti condizioni:

1. $0 < f_1 < 1, 0 < f_2 < 1 \Rightarrow 0 < f < 1;$
2. $f_1 = 0$ (oppure $f_2 = 0$) $\Rightarrow f = 0;$
3. $f_1 = 1$ (oppure $f_2 = 1$) $\Rightarrow f_2 = f$ (oppure $f_1 = f$).

Le tre condizioni date implicano, semplicemente, che l'unica relazione possibile tra f_1 , f_2 ed f è $f = f_1 \times f_2$! Se $f = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$, $f_1 = \frac{1-\beta}{1+\beta}$, $f_2 = \frac{1-\gamma}{1+\gamma}$ dove $\alpha = \frac{w}{c}$, $\beta = \frac{v}{c}$, $\gamma = \frac{u}{c}$ con la condizione di prima ($f_1 \times f_2 = f$) si ricava la legge di composizione delle velocità tipica della relatività: $\alpha = \frac{\beta + \gamma}{1 + \beta\gamma}$.

Gli esperimenti storici¹⁵, pochi a dire il vero rispetto a tutte le altre verifiche della relatività ristretta, sono più che mai tautologici: se i segnali che si utilizzano per rilevare gli oggetti e le loro grandezze caratteristiche (il mezzo che abbiamo per comunicare), si propagano sempre alla stessa velocità c , non è possibile ottenere negli esperimenti misure di velocità superiori a quella della luce esattamente come si è ricavato in teoria (c invariante)!

E d'altra parte i dati sperimentali vengono sempre elaborati usando in qualche modo le trasformazioni di Lorentz e quindi il fatto che c è costante. Si trova, per esempio, la velocità v dei pioni o della coppia elettroni – positroni usati negli esperimenti dalle trasformazioni di Lorentz, le equazioni della relatività, e poi si conclude dicendo che i dati raccolti delle velocità relative sono in disaccordo con $c \pm v$!

In qualunque caso gli esperimenti non potranno mai discriminare tra la relatività (le trasformazioni di Lorentz) e la stessa formula che si è ricavata solamente dalla definizione di velocità! E il fatto che la formula ricavata sia in accordo con i dati sperimentali raccolti non costituisce una prova inconfutabile della validità del modello fisico e della teoria utilizzata, ma solo afferma che essa riesce a dar conto dei risultati ottenuti.

Continua, dunque, ad esser vero quello che diceva Galilei¹⁶: “*Resta che io produca le ragioni che, altre alla esperienza, confermano la mia proposizione, sebbene per rassicurare l'intelletto, dove arriva l'esperienza non è necessaria la ragione, la quale io produrrò sì per vostro beneficio, si ancora perché prima fui persuaso dalla ragione che assicurato dal senso*”. Gli esperimenti, cioè, possono servire eventualmente solo a saggiare la bontà dei modelli utilizzati nella teoria, ma non sempre a discriminare tra essi. Per fornire i modelli bisogna, come si diceva all'inizio, “astrarre” e porre gli elementi fondanti alle teorie.

¹ G. Galilei, ultima parte della “*Seconda lettera al Sig. Marco Velsari delle macchie solari*” del 14 agosto 1612, in <http://www.libreria.it/biblioteca/g/galilei/lettere/html/lett08b.htm> e anche in *Opere di Galileo Galilei* (volume primo), pag. 370, UTET, Torino, 1964.

² G. Galilei, “*Discorsi intorno a due nuove scienze*” in *Opere di Galileo Galilei* (volume secondo), giornata quarta, UTET, Torino, 1964, pag. 779.

³ cfr. i nostri articoli sul sito www.lascuolaitalica.it

⁴ A. Einstein, “*Come io vedo il mondo*”, Grandi Tascabili Economici Newton, Roma 1988, pag. 75.

⁵ G. Vailati, *Il Metodo Deduttivo come Strumento di Ricerca.*, (Lettura d'introduzione al corso sulla Storia della Meccanica tenuto all'Università di Torino, l'anno 1897-98), in *Scritti di G. Vailati (1863-1929)*, p. 126, Firenze, 1911.

⁶ G. Boscarino, S. Notarrigo, “*La Meccanica Quantistica: Scienza o Filosofia?*”, Ed. Cooperatica “Laboratorio”, Siracusa, 1997, pag. 37.

⁷ G. Galilei, “*Dialogo sopra i massimi sistemi del mondo*” in *Opere di Galileo Galilei* (volume secondo), seconda giornata, UTET, Torino, 1964, pag. 185 – 186.

⁸ G. Boscarino, S. Notarrigo, op. cit., pag. 44.

⁹ G. Galilei, “*Dialogo...*”, op. cit., pag. 216.

¹⁰ M. S. Greenwood, “*Relativistic addition of velocities using Lorentz contraction and time dilation*” Am. J. Phys. 50, 1156-1157 (1982); L. Sartori, “*Elementary derivation of the relativistic velocity addition law*” Am. J. Phys. 63, 81-82 (1995); W.N. Mathews Jr., “*Relativistic velocity and acceleration transformations from thought experiments*” Am. J. Phys. 73, 45-51 (2005); A. Gjurchinovski, “*Relativistic addition of parallel velocities from Lorentz contraction and time dilation*,” Am. J. Phys. 74, 838-839 (2006).

¹¹ Cfr. N. David Mermin, “*Relativistic addition of velocities directly from the constancy of the velocity of light*,” Am. J. Phys. 51, 1130-1131 (1983) e B. Yu-Kuang Hu, “*Relativistic addition of perpendicular velocity components from the constancy of speed of light*” arXiv:physics/0612191v1 20 Dec 2006.

¹² Fotone con velocità c , particella con velocità w e treno (di lunghezza L) con velocità v ($w > v$). Il fotone e la particella iniziano una gara da una punta del treno all'altra dove c'è uno specchio che riflette il fotone. T = tempo impiegato dal fotone a raggiungere lo specchio; T' = tempo impiegato dal fotone a incontrare la particella. Si ha: $w(T + T') = c(T - T')$, $cT = L + vT$, $cT' = fL - vT'$ essendo f la frazione della lunghezza del treno tra la posizione dell'incontro tra la

particella e il fotone (dopo la sua riflessione) e la fine del treno. Dalle tre equazioni si ottiene:
$$f = \frac{(c + v)(c - w)}{(c - v)(c + w)}$$

Chiamando u la velocità della particella rispetto al treno, notando che c ed f sono invarianti, e ponendo $v = 0$ si ottiene:

$$f = \frac{(c - u)}{(c + u)}$$
 Ponendo uguali le due espressioni di f , si ha l'equazione riportata nel testo.

¹³ P. Di Mauro, “*Reale e apparente: le trasformazioni di Lorentz e il concetto di velocità*” in *Mondotre – La Scuola Italiana*, Anno IV, Numero 4, dicembre 2002, Nuova serie, pp. 17 – 40; anche www.lascuolaitalica.it/nsIV2.htm.

¹⁴ Cfr. p. es., A.T. Wilson: “*Using ordinary multiplication to do relativistic velocity addition*”, arXiv:physics/0611192v1 del 21/11/06.

¹⁵ D. Sadeh, “*Experimental evidence for Constancy of the Velocity of Gamma Rays, Using Annihilation in Flight*”, Phys. Rev. Lett. 10, 271 - 273 (1963); T. A. Filippas, J. G. Fox, “*Velocity of Gamma Rays, from a Moving Source*”, Phys. Rev. 135, B1071 - 75 (1964); Kenneth Brecher, “*Is the Speed of Light Independent of the Velocity of the Source?*”, Phys. Rev. Lett. 39, 1051 - 1054 (1977).

¹⁶ G. Galilei, Postille al libro: “*Esercitazioni filosofiche di Antonio Rocco, filosofo peripatetico*”, riportato da G. Vailati, op. cit., pag. 126.