

Raffaele Palese<sup>1</sup> Marcella Palese<sup>2</sup>

**I *Metaphysische Anfangsgrunde der Naturwissenschaft* di I. Kant;  
anticipazioni sulla possibilità di una Teoria di Relatività Generale \***

**ABSTRACT**

We analyse the theoretical foundations of the Einstein's Theory of General Relativity, by showing how the general relativity principle of the motion originates in Kant's *Metaphysische Anfangsgrunde der Naturwissenschaft*.

Si analizzano i fondamenti teoretici della Teoria della Relatività Generale di Einstein, mostrando come il principio di relatività generale del movimento abbia le sue radici nei *Metaphysische Anfangsgrunde der Naturwissenschaft* di Kant.

**1. Introduzione**

Alla luce della Storia della Fisica, un'analisi approfondita delle influenze teoretiche che hanno determinato la genesi della teoria della relatività generale einsteiniana mostra che tale teoria è derivata da due matrici:

1. La nuova definizione di simultaneità tra eventi distanti, che scaturisce dall'introduzione del concetto di campo (si veda e.g. [5]), il quale sostituisce l'interazione a distanza con velocità finita, con la conseguente adozione delle trasformazioni di coordinate lorentziane per osservatori in moto relativo traslatorio uniforme.

2. L'influenza kantiana nell'approccio metodologico alla trattazione del problema epistemologico della determinazione del movimento inteso come relativo anche nel caso di moti accelerati.

\*Questo lavoro è stato parzialmente finanziato da GNFM-INDAM e MURST, Università di Torino.

Il punto 1. rappresenta un adeguamento del principio di relatività galileiano al nuovo modo di concepire la trasmissione del nesso causale. Per mezzo di questo Einstein ricava come principio matematico le trasformazioni spazio-temporali tra due sistemi di riferimento inerziali allo scopo di determinare una teoria della *elettrodinamica dei corpi mossi, 1905* [1]. Il punto 2. comporterà per Einstein l'estensione del principio di relatività generale, *come principio metafisico*, ai movimenti rototraslatori accelerati.

Il nostro obiettivo in questa nota è far vedere come i punti 1. e 2. congiuntamente portino allo sviluppo di una teoria generale del campo gravitazionale.

**2. I *Metaphysische Anfangsgrunde der Naturwissenschaft* di I. Kant**

Una corretta analisi della genesi storica della teoria della relatività generale non può non tener conto del processo teoretico che prende le mosse dalla riflessione di I. Kant sulla possibilità per la materia del moto reale e curvilineo (accelerato) nei *Metaphysische Anfangsgrunde der Naturwissenschaft* (Primi Principi Metafisici della Scienza della Natura) (Riga, 1786) [3]. Einstein infatti conosceva a fondo la teoria kantiana del movimento, avendo seguito al Politecnico di Zurigo le lezioni di August Stadler (*Kants Theorie der Materie*, Leipzig, 1883) negli anni 1896-1897.

Secondo Kant tutte le determinazioni del concetto generale di materia e di conseguenza anche tutto ciò che può essere pensato a priori di essa o rappresentato nella costruzione matematica, oppure dato nell'esperienza come oggetto di essa, si devono poter ricondurre entro le quattro classi di categorie della *quantità*, della *qualità*, della *relazione* e della *modalità*. Le regole dell'uso oggettivo delle categorie portano a definire le quattro possibili proposizioni

dell'intelletto: gli assiomi dell'intuizione, le anticipazioni della percezione, le analogie dell'esperienza e i postulati del pensiero empirico in generale.

Seguendo questo schema, l'opera kantiana del 1786 si compone di quattro capitoli; il primo considera il movimento e la sua composizione senza tenere conto di alcuna qualità del mobile, il secondo prende in considerazione il movimento come appartenente alla "qualità" della materia (dovuto cioè alle sue forze motrici originarie di attrazione e repulsione), il terzo considera la materia con questa qualità in "relazione" reciproca in conseguenza del movimento ad essa proprio, infine il quarto ne determina il movimento o la quiete solo in relazione al genere di rappresentazione o "modalità", cioè come fenomeno dei sensi esterni (fenomenologia).

Assunto che:

[...] il movimento di una cosa è il cambiamento dei rapporti esterni di questa cosa rispetto ad uno spazio dato [...]

cioè che:

[...] ogni movimento come oggetto dell'esperienza possibile può essere considerato come movimento del corpo in uno spazio in quiete o come quiete del corpo ed al contrario movimento dello spazio, nella direzione opposta con velocità uguale [...]

(principio di relatività ristretta), Kant così si esprime riguardo al concetto di spazio assoluto:

[...] ammettere come dato per sé uno spazio assoluto, cioè uno spazio che non essendo materiale, non può essere percepito dall'esperienza, equivale ad ammettere qualche cosa, che non può essere percepita in sé, nè nelle sue conseguenze [...], lo spazio assoluto non è dunque niente in sé e non è affatto un oggetto, ma significa soltanto un qualsiasi altro spazio relativo che io posso sempre ideare oltre a quello dato.

Nello schema kantiano il concetto di materia è strettamente collegato al concetto di movimento. Infatti

[...] la materia è ciò che si muove, in quanto esso può essere, come tale, un oggetto dell'esperienza [...] la quantità di materia può essere valutata in relazione ad ogni altra materia solo per mezzo della quantità di movimento con una velocità data.

Ancora a proposito Kant fa notare come la determinazione della massa di un corpo possa essere data equivalentemente sotto forma di inerzia e di "attrazione originaria":

[...] la quantità della materia deve essere valutata in base alla quantità del suo movimento e non in base alla grandezza delle forze motrici originarie. Nondimeno l'attrazione originaria, quale causa della gravitazione universale, può dare una misura della quantità della materia (come avviene realmente nel

paragonare la materia pesandola), [...], in realtà la valutazione avviene ancora qui meccanicamente, sia pure in modo indiretto.

Tenendo conto del concetto di materia e della relatività del concetto di movimento, Kant assume nella *Fenomenologia* come principio metafisico il principio di relatività in senso generale:

Il movimento, come tutto ciò che è rappresentato dai sensi, non è dato che come fenomeno, perché la rappresentazione del movimento divenga una esperienza, è per di più necessario che qualcosa venga pensato dall'intelletto, e precisamente così come la rappresentazione è inerente al soggetto, occorre che venga pensata la determinazione di un oggetto per mezzo di questa rappresentazione. Il mobile, come tale, sarà dunque un oggetto dell'esperienza se un certo oggetto (il quale è qui una cosa materiale) è pensato come determinato rispetto al predicato del movimento. Ma *il movimento è il cambiamento della relazione nello spazio*<sup>1</sup>.

Pertanto noi abbiamo qui sempre due termini *correlativi*<sup>1</sup>, per i quali vale quanto segue:

1. nel fenomeno si può attribuire il cambiamento così bene all'uno come all'altro e può essere detto in movimento l'uno come l'altro perché ciò è indifferente;

2. nell'esperienza deve essere pensato come mosso solo uno di essi ad esclusione dell'altro;

3. necessariamente entrambi devono venire rappresentati dalla ragione come mossi nello stesso tempo.

In base a queste assunzioni Kant afferma che

[...] lo stesso movimento della materia concepito senza alcuna relazione ad una materia esterna ad essa, cioè concepito come un movimento assoluto è impossibile [...] il concetto del movimento come oggetto dell'esperienza lascia in sé indeterminato, e per conseguenza indifferente, se un corpo debba essere rappresentato come in movimento nello spazio relativo, o lo spazio come in movimento rispetto al corpo.

[...] lo spazio puro, che si chiama assoluto per rapporto allo spazio relativo (empirico), non è mai oggetto dell'esperienza e non è assolutamente niente, ne consegue che il movimento rettilineo senza rapporto con alcunché di empirico, cioè il movimento assoluto, è in tutti i modi impossibile.

*Il movimento curvilineo di una materia è, a differenza del movimento inverso dello spazio, un predicato reale della materia*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Corsivo degli autori

L'unico movimento reale della materia risulta quindi il movimento accelerato, a patto di riconoscere in ogni caso la relatività dello stesso:

Ma bisogna ben rimarcare che qui si parla di movimento vero (reale) che non appare tuttavia come tale, il quale per conseguenza, se lo si vuole giudicare solo

per i suoi rapporti empirici con lo spazio, potrebbe essere ritenuto come quiete. Si tratta in altri termini del movimento vero opposto a quello apparente, ma non di esso come movimento assoluto opposto a quello relativo.

L'essenza stessa della materia dunque impone il concetto di movimento reale come relativo e comunque accelerato e, di conseguenza, curvilineo.

Non c'è un movimento assoluto quando si pensa un corpo in movimento rispetto ad un altro corpo dello spazio vuoto. Il movimento di questi due corpi non è qui pensato relativamente allo spazio che li circonda, ma solo relativamente allo spazio giacente tra essi, che solo ne determina il rapporto esteriore reciproco, considerato come spazio assoluto: *esso è dunque sempre null'altro che un movimento relativo. Movimento assoluto sarebbe dunque solo quello che spettasse ad un corpo senza relazione con un'altra materia qualunque*<sup>1</sup>. Solo il movimento rettilineo dell'universo intero, cioè del sistema di tutta la materia sarebbe un movimento di questo genere. Infatti, se al di fuori di una materia ce ne fosse ancora qualche altra, anche separata da essa per mezzo dello spazio vuoto, il movimento sarebbe già relativo.

### **3. Il Principio di Relatività esteso e la teoria del campo gravitazionale**

È bene mettere bene in evidenza che l'importanza della teoria einsteiniana non consiste tanto nella nuova definizione di trasformazione di coordinate, quanto nell'affermazione dell'impossibilità di determinare lo stato di moto di un sistema di riferimento *absolutum*, cioè sciolto da ogni rapporto esterno ad esso.

Nella meccanica newtoniana-galileiana, il principio di relatività non era applicabile ai movimenti accelerati, poiché un sistema di riferimento non inerziale poteva determinare il proprio stato di moto accelerato indipendentemente da ogni rapporto esterno a sé. Ovviamente, assunto un principio metafisico di relatività del movimento come logicamente valido nella sua totalità, si dovrà riconoscere un difetto epistemologico innato nella meccanica newtoniana.

L'uguaglianza tra massa inerziale e massa gravitazionale servi ad Einstein per mostrare come potesse essere superato tale difetto, cioè come argomento fondamentale

<sup>1</sup> Corsivo degli autori

a favore del postulato generale di relatività (*I fondamenti della teoria di relatività allargata, 1916* [1]). Einstein fornisce un semplice esempio esplicativo di quanto appena detto in una esposizione divulgativa complessiva della sua teoria in *Sulla teoria della relatività speciale ed allargata, 1917* [1]:

Immaginiamo una larga porzione di spazio vuoto così lontana da astri e da masse di grandezza apprezzabile, da fornirci le condizioni richieste dal principio fondamentale di Galilei.

È allora possibile scegliere per questa parte di spazio un corpo di riferimento galileiano relativamente al quale i punti in quiete rimangono in quiete ed i punti in moto continuano in permanenza il loro moto rettilineo

uniforme. Come corpo di riferimento immaginiamo una spaziosa cassa che rassomigli ad una stanza, avente al suo interno un osservatore munito di apparecchi. [...] La cassa insieme all'osservatore comincia a muoversi "verso l'alto" di moto uniformemente accelerato. [...] Se egli lascia andare un corpo che prima teneva in mano l'accelerazione della cassa non sarà più trasmessa a questo corpo e per tale ragione si dirigerà verso il pavimento con un moto relativo accelerato. [...] Basandosi sulla sua conoscenza del campo gravitazionale la persona nella cassa giungerà così alla conclusione di trovarsi insieme con la cassa in un campo gravitazionale che è costante rispetto al tempo. [...] Sebbene la cassa risulti accelerata rispetto allo "spazio galileiano" poco fa preso in esame, possiamo non di meno considerarla come in quiete. Abbiamo quindi delle buone ragioni per estendere il principio di relatività fino ai corpi di riferimento che sono accelerati uno rispetto all'altro, abbiamo così guadagnato un potente argomento a favore di un postulato di relatività generalizzato.

Si osservi attentamente che la possibilità di un siffatto metodo di interpretazione poggia sulla *proprietà fondamentale del campo gravitazionale di dare a tutti i corpi la stessa accelerazione*<sup>1</sup>, o ciò che viene ad essere la stessa cosa, sulla legge dell'uguaglianza tra massa inerziale e massa gravitazionale.

Per movimenti accelerati rototraslazionali, un osservatore che si trovi nel sistema accelerato rispetto a quello considerato come galileiano dovrà giungere alla conclusione di trovarsi in quiete ed immerso in un campo gravitazionale variabile nel tempo a causa della presenza dell'accelerazione centrifuga e di Coriolis.

Gli effetti relativi reciproci di un relativismo dinamico in cui il sistema galileiano è tale poiché è in caduta libera rispetto allo spazio considerato ora in quiete,

<sup>1</sup> Corsivo degli autori

conducono così alla relatività del concetto di sistema inerziale e all'invarianza delle leggi della fisica rispetto ad osservatori in moto relativo accelerato qualunque. Tenendo conto di tali effetti, secondo Einstein, una teoria generale della relatività del movimento porta naturalmente ad una teoria del campo gravitazionale, cioè ad una *teoria delle proprietà fenomenologiche della materia*.

Le equazioni generali del campo gravitazionale vengono ottenute da Einstein tenendo conto della validità delle equazioni di trasformazione di coordinate spazio-temporali tra due sistemi inerziali, nonchè del fatto che in un generico moto accelerato ciascun sistema di riferimento può essere pensato punto per punto (cioè "localmente") inerziale in virtù dell'estensione del principio di relatività.

#### 4. Conclusioni

Einstein, conoscendo a fondo la teoria kantiana, tiene fede ai principi metafisici della fenomenologia della relatività del movimento. La teoria della relatività generale einsteiniana risulta quindi il punto di convergenza di tre fatti fondamentali:

i. la *localizzazione* spazio-temporale nella descrizione fenomenologica del movimento mediante l'introduzione del concetto di campo;

- ii. l'assunzione di un principio metafisico di relatività generale nella descrizione fenomenologica del movimento;
- iii. l'identificazione tra massa gravitazionale e massa inerziale e la conseguente affermazione che tutti i sistemi di riferimento possono essere considerati *localmente* inerziali.

Si noti che, dal punto di vista epistemologico, in Einstein il modo stesso di formulare una teoria scientifica segue la teoria della conoscenza di Kant [4], come egli stesso ha espresso chiaramente in una lettera a Solovine (1952) [7]:

- 1. Ci sono date le *E* (esperienze immediate).
- 2. *A* sono gli assiomi dai quali traiamo conclusioni. Dal punto di vista psicologico gli *A* poggiano sulle *E*. Ma non esiste alcun percorso logico che dalle *E* conduca alle *A*, c'è solamente una connessione intuitiva (psicologica) e sempre "sino a nuovo ordine".
- 3. Dagli *A* si ricavano, con procedimenti deduttivi, enunciati particolari *S* che possono essere veri.
- 4. Gli *S* sono messi in relazione con le *E* (verifica per mezzo dell'esperienza).

In questo schema secondo Einstein la ricerca in fisica deve proseguire in un processo che tenga conto della richiesta dell'intelletto di un campo "totale", di gravitazione ed elettromagnetismo, e che sia, all'interno di una teoria generale di relatività, una generalizzazione dell'invarianza rispetto al gruppo di trasformazioni continue di coordinate.

[...] nessun insieme di fatti empirici, per quanto ricco, può mai portare all'impostazione di equazioni così complicate. Una teoria può essere verificata dall'esperienza, ma non esiste alcun modo per risalire dall'esperienza alla costruzione di alcuna teoria.

Equazioni di tale complessità, come sono le equazioni del campo gravitazionale, possono essere trovate solo attraverso la scoperta di una condizione matematica logicamente semplice che determina completamente o quasi le equazioni.

Una volta in possesso di condizioni formali abbastanza forti, non c'è bisogno di una grande conoscenza dei fatti per costruire una teoria [...] [7]

## 5. BIBLIOGRAFIA

[1] A. Einstein, *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Bollati Boringhieri, Torino (1988).

[2] A. Einstein, Prefazione a: M. Jammer, *Concepts of Space. The History of Theories of Space in Physics*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. (1954)

[3] I. Kant, *Primi Principi Metafisici della Scienza della Natura*, a cura di L. Geymonat e L. Galvani, Cappelli, Firenze (1959).

*Raffaele Palese Marcella Palese I Metaphysische Anfangsgruende der Naturwissenschaft di I. Kant; anticipazioni sulla possibilità di una Teoria di Relatività*

---

[4] I. Kant, *Critica della Ragione Pura*, a cura di G. Colli, Bompiani, Milano (1987).

[5] M. Palese, R. Palese, Il concetto di campo come elemento irriducibile della descrizione fisica in relatività generale, P. Tucci ed., Atti XVIII Congr. Naz. di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Como 1998, Università di Milano (1999) 239-246.

[6] G. Scrimieri, *'Relativitätstheorie' di A. Einstein. Kant-Husserl-Weyl*, Congedo, Galatina (1998).

[7] J. Stachel, ed., *The collected papers of A. Einstein*, Princeton University (1987).

#### NOTE

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università Via per Arnesano - 73100, Lecce  
e-mail: palese@le.infn.it

<sup>2</sup> Dipartimento di Matematica dell'Università Via C. Alberto 10 - 10123, Torino e-mail:  
palese@dm.unito.it