

1907 Equivalence Principle Discovery – Mental Model

A. Miller

Einstein's First Steps Toward General Relativity: *Gedanken* Experiments and Axiomatics
Physics in Perspective 1999 – (85,104)

Rev. 1.0

1. Introduzione

Nel 1907 Einstein fu invitato da J. Stark a scrivere per la rivista *Jarbuch der Radioaktivita't und Elektronik* un articolo di rassegna sulla teoria della Relatività Ristretta del 1905. Einstein, come ebbe a fare anche in seguito, accettò di buon grado l'invito e utilizzò questa occasione non solo per sistematizzare il lavoro compiuto negli anni precedenti ma anche per compiere i primi passi (se non il fondamentale) per giungere ad una teoria generale della Relatività. Le pagine più significative dell'articolo sono concentrate nel Capitolo V dove egli affronta per la prima volta il tentativo di includere la gravitazione nella teoria della relatività. A tal fine è necessario partire da un fatto empirico che fino al 1907 rimane del tutto ingiustificato; l'inspiegabile uguaglianza fra massa inerziale e massa gravitazionale che Einstein veicola in un famoso esperimento mentale. Fra settembre e dicembre del 1907 egli nota come un osservatore in caduta libera non riscontra la presenza di un campo gravitazionale nelle sue vicinanze; se infatti lascia cadere un oggetto, ad esempio dalla sua mano, osserva come esso rimanga in quiete rispetto al suo corpo. In questa maniera il soggetto in caduta libera ha la possibilità di considerarsi un sistema di riferimento inerziale. L'esperimento mentale brevemente descritto è alla base di ciò che sarà il fondamento della Relatività Generale: il Principio di Equivalenza. Esso afferma infatti che un sistema inerziale immerso in un campo gravitazionale uniforme è del tutto equivalente ad un sistema accelerato nella direzione opposta a quella del campo. In questo modo si raggiunge un duplice obiettivo: in primo luogo si estende il Principio di Relatività - che fino al 1907 riguarda solo i sistemi inerziali - ai Sistemi uniformemente accelerati, ed in secondo luogo si include nello studio dei sistemi accelerati la ricerca delle leggi fisiche che descrivono la gravitazione.

Come Einstein giunge al Principio di Equivalenza è un tema tipico affrontato dagli storici della scienza. Essendo considerato come una *illuminazione* dallo stesso Einstein – vedi la famosa conferenza di Kyoto in cui egli afferma che il Principio di Equivalenza nasce dalla riflessione sull'esperimento mentale sopra descritto – la sua trattazione presenta serie difficoltà in quanto è difficile descrivere i processi mentali che conducono un soggetto alla soluzione di un problema. In questi ultimi anni però vengono in soccorso allo storico i mezzi e gli strumenti sviluppati dalla scienza cognitiva che in qualche modo gettano una nuova luce su questi fatti. Qui di seguito presenteremo un modello mentale sviluppato da Miller che cerca di fare chiarezza sull'intera materia.

2. Network-Thinking

Il modello mentale proposto da Miller – che prende il nome di *Network Thinking* (A.Miller , *Insights of Genius: Imagery and creativity in Science and Arts*, Springer (1996)) si riconduce ai modelli mentali sviluppati per descrivere il comportamento di un soggetto di fronte ad un *problem solving*. Esso è costituito di tre parti essenziali:

- a. Pensiero cosciente
- b. Pensiero inconscio.
- c. Illuminazione.

Il pensiero cosciente si sviluppa da quando il soggetto si pone di fronte al problema da risolvere: egli genera strategie di soluzione da un punto di vista 'razionale' con gli strumenti che ha a disposizione. Questo significa che egli parte da alcuni punti iniziali – che considera come i più adeguati per risolvere il problema – e tenta di giungere alla soluzione con l'inferenza deduttiva (compie dei processi logici). Può essere guidato nella soluzione del problema da *euristiche* o *linee guida* (come suggerisce Miller) che però possono non concretizzarsi in strategie appropriate, vuoi perché una volta scoperte conducono direttamente alla soluzione, vuoi perché esse sono intrinsecamente irrazionali (ad es. si consideri il senso estetico). Bisogna sottolineare un punto importante del pensiero cosciente: il soggetto compie numerosi tentativi che conducono a risultati negativi prima che egli imbocchi la strada giusta per la risoluzione del problema. In questa fase potrebbe intervenire un certo 'scoramento' – dovuto ad esempio alla constatazione che tutte le vie percorse conducono a risultati negativi - che lo induce ad abbandonare la ricerca di una soluzione. Intervengono ora fattori che si allontanano dall'aspetto razionale ma che riportano una certa 'fiducia' nell'obiettivo da raggiungere (si pensi ad es. al compiacimento estetico di fronte ad un problema risolto con estrema eleganza).

Se il problema non viene risolto con prontezza, intervengono allora fattori inconsci – come abbiamo già messo in evidenza poche righe sopra – che però assumono caratteristiche non riconducibili ad aspetti razionali. Mentre il pensiero conscio è attivo nella soluzione del problema limitando le strategie da utilizzare, quello inconscio può attivare strutture di informazioni nella memoria a lungo termine senza alcuna restrizione. Studi psicologici dimostrano come le informazioni contenute nella memoria a lungo termine possono essere processate in parallelo con l'attività cosciente fino a quando esse non trovino una via razionale che le porti alla luce. Questo processo inconscio prende il nome di *incubazione*. Quando i processi inconsci trovano la loro via razionale sovente si parla di *illuminazione*, nel senso che il nuovo punto di vista illumina il problema sotto una luce differente ed induce il soggetto a seguire nuove strategie di soluzione.

Il modello mentale proposto da Miller si fonda su questo ciclo di attività: il soggetto (la via seguita da Einstein verrà presa in esame nel paragrafo successivo) è posto di fronte ad un problema di difficile soluzione. I dati in suo possesso e gli strumenti per risolverlo sono mappati in un '*dedicated representational medium*' (contenuto nella memoria a lungo termine) in cui si cerca una soluzione incrociando aspetti sia razionali che irrazionali. Infatti il medium considerato può operare con ragionamenti sia di tipo logico (rappresentati da simboli) sia da elementi non riconducibili a simboli, come ad esempio le figure mentali ('visual imagery'). Miller paragona il representational medium ad un centralino telefonico con connessioni ancora da attivare. Le connessioni sono attivate da linee guida nella soluzione del problema o da informazioni che possono provenire da campi totalmente differenti da quello preso in esame.

3.1907 *Einstein Network Thinking*

Il modello mentale proposto da Miller viene descritto nella Fig. 1 e nelle pagine seguenti cercheremo di descriverlo con maggior precisione.

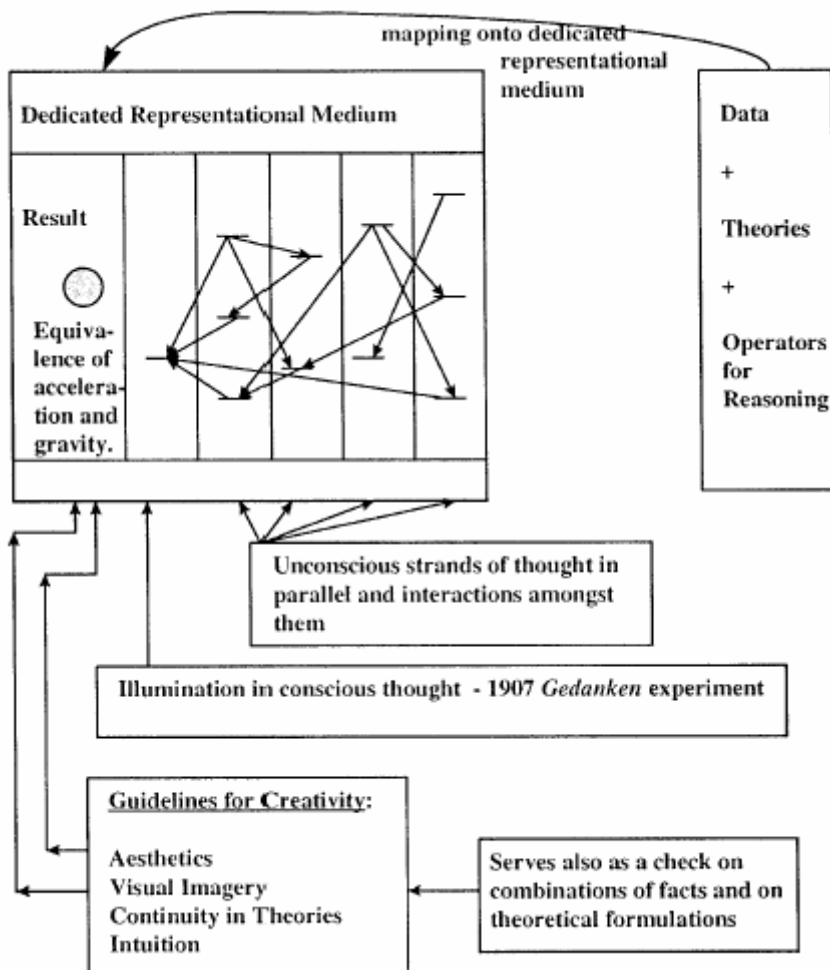


Fig1.

La Fig1 si deve leggere da destra verso sinistra, dove alla fine del processo si trova la soluzione del problema. Einstein a partire dal 1907 affronta il problema di includere nella teoria della relatività il fenomeno gravitazionale (*posizione del problema*). Ha a disposizione i risultati raggiunti nel 1905 ed alcune difficoltà che ha riscontrato nell'uguaglianza fra massa inerziale ed energia (Blocco a destra "Data + Theories + Operators for Reasoning") Nell'affrontare questi problemi da un punto di vista *conscio* incontra alcune difficoltà che apparentemente bloccano lo sviluppo delle sue idee:

- La trasformazione della teoria di Newton in una teoria Lorentz-covariante (vedi al riguardo anche l'articolo di Norton sulla Teoria di Nordstroem) conduce Einstein ad osservare un'incongruenza inspiegabile nell'Energia cinetica di un corpo solido in caduta libera. Questa difficoltà lo blocca nella facile estensione della teoria newtoniana.
- Nello studio del moto di un corpo carico immerso in un campo elettrico statico riscontra una difficoltà nell'ipotesi di uguaglianza fra massa inerziale ed energia. Questa difficoltà riscontrata già a partire dal 1906 dovrebbe rendere la teoria del 1905 non corretta.
- Gli esperimenti di Kaufmann dimostrano la fallacia della Teoria di Einstein-Lorentz sull'elettrodinamica.

Queste difficoltà conducono ad una enpasse nello sviluppo della teoria della Relatività Generale in quanto Einstein non ha a disposizione delle soluzioni immediate ai tre problemi evidenziati. In ogni caso presenta sempre delle argomentazioni convincenti (sia in pubblico – sia in privato) che lo inducono a

procedere nella ricerca senza bloccarsi nella risoluzione dei problemi. Come abbiamo evidenziato nel paragrafo precedente questo comportamento è tipico di un soggetto di fronte ad un problem-solving: i primi tentativi conducono a fallimenti che ingenerano un senso di frustrazione ed impotenza, ma la soluzione migliore è quella di considerare questi errori come punti di partenza per nuove strategie con cui affrontare il problema.

Così ad esempio la difficoltà del punto (a) costringe Einstein ad affrontare il problema della gravitazione da un punto differente rispetto a quello compiuto dai suoi contemporanei (vedi ad es. Abraham – Nordstroem) che lo porterà ad estendere il principio di relatività.

Il punto (c) invece evidenzia come Einstein affronta l'aspetto sperimentale delle sue teorie: egli nota che gli esperimenti di Kaufmann non sono conclusivi in quanto, sebbene portati ai limiti sperimentali degli strumenti dell'epoca, possono essere soggetti ad errori sistematici non trattabili. Un atteggiamento simile si riscontra – capovolto – nella conferma sperimentale dell'incurvamento dei raggi luminosi nell'eclisse del 1915; alla notizia che le sue ipotesi risultavano corrette Einstein commentò semplicemente che non poteva che essere così, in quanto la teoria era logicamente coerente. Tutto ciò per indicare che Einstein aveva una sicurezza quasi incrollabile in una struttura teorica completa e coerente.

Infine la difficoltà del punto (b) nell'ipotesi dell'uguaglianza fra massa inerziale ed energia lo porta a riconsiderare la teoria sviluppata nel 1905 e probabilmente le euristiche che lo guidarono nella scoperta (Unconscious strands of Thought). I punti salienti di questa rivalutazione (che portano all'articolo del 1907 sullo *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* sono i seguenti:

- a. Esperimento del conduttore immerso in un campo elettromagnetico. Esso viene presentato – sebbene discusso da diversi anni nella comunità scientifica di fine 800 – nel primo paragrafo dell'articolo del 1905. e serve a dimostrare come il campo elettrico abbia una valenza relativa e non assoluta.
- b. L'uguaglianza fra massa inerziale ed energia nasce da una riflessione più profonda che Einstein ha mutuato da Poincaré e che si riallaccia all'inspiegabile uguaglianza fra massa inerziale e massa gravitazionale.

Questi due punti portano Einstein alla scoperta del Principio di Equivalenza ed in particolare all'esperimento mentale (*Illuminazione*) che lo guiderà nella stesura delle relatività generale. Egli infatti si rese conto che proprio come nel caso del campo elettrico nell'esperimento del conduttore anche il campo gravitazionale aveva una esistenza relativa per un osservatore in caduta libera. Inoltre considerando proprio una tale condizione egli si rese conto che la massa inerziale equivaleva a quella gravitazionale proprio perché potevano essere scambiate senza rischio di errore; ciò che prima era accettato come un dato di fatto ed una abitudine, ora veniva spiegato con un semplice esperimento mentale.

L'illuminazione del 1907 giunge dunque alla fine di un percorso che nasce da alcune battute d'arresto nella ricerca teorica einsteiniana, che passa attraverso una rivalutazione della teoria precedente e che è guidata da alcune euristiche quali ad esempio l'ipotesi di Poincaré, la ricerca dell'economicità (mutuata da Mach) che gli impedisce di cercare soluzioni ad hoc per il problema della massa inerziale ed infine il senso estetico di semplicità che lo appaga quando giunge alla soluzione del problema.