

Heinrich Hertz: fisica, metodo e filosofia

Giuseppe Giuliani

Dipartimento di Fisica “Volta”, via Bassi 6, 27100 Pavia

giuliani@fisicavolta.unipv.it

<http://fisicavolta.unipv.it/percorsi/>

Questi sono, a mio giudizio, i criteri con cui valutare le teorie fisiche e le rappresentazioni delle teorie fisiche. H. Hertz

Riassunto. La filosofia della fisica di Hertz viene sinteticamente presentata e discussa. In queste pagine si sostiene che qualunque riflessione filosofica sulla scienza non può, ancora oggi, prescindere dal pensiero hertziano.

Abstract. Hertz's Philosophy of Physics is concisely presented and discussed. It is argued that, even nowadays, Hertz's thought must be taken into account in every approach to the Philosophy of Science.

Heinrich Hertz (1857-1894), universalmente conosciuto come uno dei grandi fisici dell'Ottocento e come colui che per primo ha realizzato in laboratorio il fenomeno descritto come “propagazione delle onde elettromagnetiche”, è stato anche un acuto e profondo filosofo della scienza.

Heinrich, Rudolph Hertz nasce ad Amburgo, il 22 Febbraio 1857, in una delle più illustri famiglie della città; il padre Gustav, di origine ebraica, era avvocato e uomo di cultura.¹

Fin da bambino mostra una passione ed una propensione straordinarie per la costruzione di piccoli strumenti e congegni; apprende le tecniche di lavorazione del metallo e del legno e segue specifiche lezioni di disegno meccanico. Hertz si avvarrà di questo addestramento tecnico nello svolgimento delle sue ricerche sperimentali.

Terminato il Ginnasio, gli interessi prevalenti per le discipline tecnico-scientifiche, lo portano a scegliere la Facoltà di Ingegneria.

Svolto il servizio militare, sceglie di dedicarsi completamente alla ricerca universitaria: tra il 1877 e il 1878 trascorre un anno intero all'Università di Monaco affinando le proprie conoscenze matematiche e seguendo dei corsi presso l'Istituto Tecnico, dove intraprende ricerche di fisica sperimentale.

Il 1878 si trasferisce all'Università di Berlino per completare la propria formazione nel prestigioso laboratorio di fisica diretto da Hermann von Helmholtz, il cui indirizzo di ricerca era noto all'epoca per la stretta combinazione tra ricerca sperimentale ed elaborazione teorica.

¹ Per queste brevi note biografiche ho usato le pagine relative della tesi di laurea di Roberta Milani “Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894): modelli, fisica e filosofia”, Pavia, 2000.

Il naturale talento e la solida preparazione consentono ad Hertz di mettersi in luce all'interno dell'ambiente accademico berlinese; a notarlo è lo stesso von Helmholtz che non esita a seguire personalmente il giovane allievo, stimolandone l'ingegno e incoraggiandone la carriera.

La carriera di Hertz procede per tappe molto rapide: nel 1880 entra come assistente nel laboratorio dell'Università di Berlino, nel 1883 il Ministero prussiano della Pubblica Istruzione lo induce a conseguire la libera docenza a Kiel, con la prospettiva di una successiva promozione; nella Pasqua del 1885 viene chiamato come professore ordinario di Fisica al Politecnico di Karlsruhe, dove porta a compimento le sue ricerche sulle onde elettromagnetiche. A Karlsruhe sposa Elisabeth Doll, figlia di un collega.

Il secondo semestre del 1889 accetta la carica di Ordinario di Fisica all'Università di Bonn. Negli anni seguenti ottiene numerosi riconoscimenti dalle Accademie e dagli Istituti di tutta Europa: nel 1888 la Società Italiana delle Scienze gli conferisce la medaglia Matteucci, nel 1889 l'Académie des Sciences di Parigi gli conferisce il premio La Caze, e la K. K. Akademie di Vienna il premio Baumgarten; nel 1890 la Royal Society gli conferisce la medaglia Rumford.

Le Accademie di Berlino, Monaco, Vienna, Göttinga, Roma, Torino e Bologna, lo eleggono a membro corrispondente, e il governo prussiano gli conferisce l'ordine della Corona.

Anche dopo la storica scoperta delle onde elettromagnetiche, realizzata tra il 1886 e il 1888, che lo rende celebre e conteso, Hertz rimane un uomo riservato e pacato; rifiuta anche la cattedra di Fisica teorica all'Università di Berlino, per essere libero di poter continuare la propria attività intensamente e senza pressioni esterne.

Helmholtz lo ricorda così nella prefazione ai "Principi":

Heinrich Hertz si è assicurato attraverso le sue scoperte una gloria imperitura nella scienza. Ma il suo ricordo non sopravviverà solo attraverso i suoi lavori: per tutti coloro che lo conobbero resteranno indimenticabili le amabili qualità del suo carattere, la sua immutabile modestia, il suo caloroso riconoscimento del lavoro altrui, la sincera riconoscenza per i suoi insegnanti. Per lui era sufficiente operare per la verità, quella verità che perseguiva con ogni sforzo; mai in lui prevalse la benché minima traccia di brama di gloria o di interesse personale.

Gli amici e i colleghi lo ricordano di natura silenziosa e schiva, restio a rivendicare i meriti di una scoperta o intuizione; attento e acuto, non risparmiava però giudizi di disapprovazione e sdegno nei confronti di studi negligenemente condotti o esibiti.

Colpito da un'incurabile malattia alle ossa, già nel novembre del 1892 le sue condizioni divengono molto precarie; ciononostante, Hertz continua l'attività didattica universitaria. Proprio in questi ultimi anni si dedica interamente al progetto di una generale rifondazione della meccanica, dando vita ai *Prinzipien der Mechanik* [I Principi della meccanica]

Nonostante la malattia, che talora lo costringe a rallentare e sospendere gli studi, Hertz riesce ad ultimare l'opera; le lettere scritte ad amici testimoniano la sua intenzione di rivedere e sviluppare in modo compiuto alcune parti, solo provvisorie, in modo particolare il secondo libro, ma l'avanzare della malattia glielo impedisce: Hertz muore il primo gennaio del 1894.

La posizione filosofica di Hertz emerge con molta chiarezza nelle sue due opere teoriche: "Le onde elettriche" e "I principi della meccanica presentati in una nuova forma". L'inizio dell'introduzione ai "Principi della meccanica" costituisce una lucida sintesi del pensiero di Hertz:

Il problema più diretto e, in un certo senso, il più importante, che la conoscenza consapevole della natura ci permette di risolvere, è quello di poter prevedere gli eventi futuri, in modo tale da poter predisporre le nostre faccende in accordo con queste previsioni. Come base per la soluzione di questo problema, facciamo sempre uso della conoscenza di eventi che sono

già accaduti, ottenuta mediante un'osservazione casuale o un esperimento preordinato. Nel cercare di trarre delle inferenze sul futuro dal passato, procediamo sempre in questo modo. Costruiamo delle immagini o simboli degli oggetti esterni; e diamo loro una forma tale che le necessarie conseguenze delle immagini nel pensiero siano sempre le necessarie conseguenze nella natura delle cose descritte. Affinché questa condizione sia soddisfatta, ci deve essere una certa conformità tra la natura ed il nostro pensiero. L'esperienza ci insegna che questa condizione può essere soddisfatta, e quindi che questa conformità in effetti esiste. Quando riusciamo a dedurre immagini del tipo desiderato dall'esperienza precedentemente accumulata, possiamo, usandole od usando modelli, dedurre le conseguenze che, nel mondo esterno, emergono solo in tempi relativamente lunghi oppure solo come risultato del nostro intervento. Siamo così in grado di anticipare i fatti, e quindi di prendere delle decisioni nella situazione presente in accordo con la previsione così acquisita. Le immagini di cui stiamo parlando sono le nostre concezioni delle cose. Esse sono in conformità con le cose stesse sotto *un* aspetto importante: perché soddisfano la condizione suesposta. Non è necessario, per i nostri fini, che esse siano in conformità con le cose sotto ogni altro aspetto qualsivoglia. Infatti, noi non sappiamo, né possiamo sapere in alcun modo, se le nostre concezioni delle cose sono in conformità con esse sotto ogni altro che non sia questo *unico* fondamentale aspetto.

Le immagini che ci possiamo formare delle cose non sono determinate senza ambiguità dalla condizione che le conseguenze delle immagini debbono essere le immagini delle conseguenze [delle cose]. Sono possibili diverse immagini degli stessi oggetti, e queste immagini possono differire per diversi aspetti. Dovremmo innanzitutto considerare inaccettabili tutte le immagini che violano implicitamente le leggi del nostro pensiero. Pertanto richiediamo innanzitutto che tutte le nostre immagini siano logicamente permesse, o, brevemente, che siano permesse. Chiameremo scorrette quelle immagini permesse le cui relazioni essenziali contraddicono le relazioni delle cose esterne, *i.e.* quelle che non soddisfano la nostra condizione fondamentale. Pertanto richiediamo, in seconda istanza, che le nostre immagini siano corrette. Tuttavia, due immagini permesse e corrette degli stessi oggetti esterni possono ancora differire per quanto concerne l'adeguatezza. Tra due immagini dello stesso oggetto la più adeguata è quella che descrive il maggior numero delle relazioni essenziali dell'oggetto: quella che potremmo chiamare la più precisa. Di due immagini egualmente precise, la più adeguata è quella che contiene, in aggiunta alle caratteristiche essenziali, il minor numero di relazioni superflue o vuote, la più semplice delle due. Le relazioni vuote non possono peraltro essere evitate: esse entrano nelle immagini perché esse sono pure immagini, immagini prodotte dalla nostra mente e necessariamente modellate dalle caratteristiche del suo modo di descrivere.

Le condizioni che abbiamo posto si riferiscono alle immagini: ad una rappresentazione scientifica delle immagini imponiamo altre condizioni postulative. Chiediamo che una rappresentazione fornisca una chiara visione di quali caratteristiche debbano essere attribuite ad una immagine sulla base

della sua permissibilità, della sua correttezza o della sua adeguatezza. Solo così possiamo avere la possibilità di modificare o migliorare le nostre immagini. Ciò che si può attribuire alle immagini sulla base della loro adeguatezza è contenuto nelle notazioni, nelle definizioni, nelle abbreviazioni, in breve, in tutto ciò che può essere aggiunto o tolto arbitrariamente. Ciò che entra nelle immagini sulla base della loro correttezza è contenuto nei risultati dell'esperienza, a partire dalla quale le immagini sono costruite. Ciò che entra nelle immagini in quanto permesse, è regolato dalla natura della nostra mente. Alla domanda se un'immagine sia permessa oppure no, possiamo rispondere senza ambiguità sì o no; e la nostra decisione sarà valida per sempre. Ugualmente senza ambiguità possiamo decidere se un'immagine sia o no corretta; ma solo secondo lo stato della nostra esperienza presente, lasciando la possibilità di un appello ad un'esperienza futura e più completa. Ma non possiamo decidere senza ambiguità se un'immagine sia o no adeguata; perché, a questo proposito, possono emergere differenze di opinione. Un'immagine può essere più adatta per un verso, un'altra per un altro; solo mettendo gradualmente alla prova molte immagini possiamo alla fine riuscire ad ottenere la più adeguata.²

Il rapporto fondamentale tra fisica e mondo esterno, come descritto da Hertz, può essere schematizzato dalla tabella 1; la tabella 2 riassume invece i suoi criteri di controllo delle teorie.

Mondo esterno		Fisica
Cose ↓	↔	Immagini ↓
Conseguenze delle Cose	↔	Conseguenze delle Immagini

Tabella 1: rappresentazione schematica del rapporto Fisica-Mondo esterno secondo Hertz.

Criterio	Metodo di controllo	Esito del controllo	Tipo di controllo
Permissibilità	Regole logiche	Si/No	Definitivo
Correttezza	Esperimento	Si/No	Provvisorio
Adeguatezza	Precisione Semplicità	Discutibile	Provvisorio

Tabella 2: procedure di controllo delle "immagini" secondo Hertz.

² H. Hertz, *The principles of mechanics presented in a new form*, New York (1956), pp. 1-3. Ristampa della prima edizione inglese del 1899. Dell'opera di Hertz è ora disponibile una traduzione italiana a cura di Giovanni Gottardi, Pavia, La Goliardica Pavese, 1996. (Collana di storia della scienza diretta da Fabio Bevilacqua.)

Sebbene queste pagine di Hertz siano chiare e distinte, mi permetto di porre in rilievo due punti essenziali:

1. La preminenza attribuita alla capacità predittiva della scienza e quindi, alla corrispondenza tra teoria ed esperimento (tra conseguenze delle immagini e conseguenze delle cose). Alle teorie non è richiesto che “siano in conformità con le cose sotto ogni altro aspetto qualsivoglia”. Non solo: “noi non sappiamo, né possiamo sapere in alcun modo, se le nostre concezioni delle cose sono in conformità con esse sotto ogni altro aspetto che non sia questo *unico* fondamentale aspetto” [la corrispondenza tra conseguenze delle immagini e conseguenze delle cose, cioè tra teoria ed esperimento]. Espresso in termini oggi più consueti, ciò significa che il cosiddetto realismo delle teorie - secondo cui teorie corroborate dall’esperimento ci dicono come esattamente le cose si svolgono nel mondo - è insostenibile. Nella concezione hertziana, rimane, tuttavia, un elemento oscuro. Esso è connesso al problema della conformità tra il nostro pensiero e la natura. Scrive Hertz: “Affinché questa condizione [la corrispondenza tra teoria ed esperimento] sia soddisfatta, ci deve essere una *certa conformità tra la natura ed il nostro pensiero*. L’esperienza ci insegna che questa condizione può essere soddisfatta, e quindi che questa conformità in effetti esiste”.³ Secondo alcuni autori, Hertz postula un *isomorfismo* tra le immagini e la natura; tale isomorfismo non emerge, tuttavia, dagli scritti di Hertz.⁴
2. La possibilità di un pluralismo teorico e, quindi, la necessità di individuare criteri di scelta tra le varie teorie. La proposta hertziana di utilizzare i criteri esposti nella tabella 2 per scegliere tra diverse teorie che, come diremmo oggi, descrivono lo stesso insieme di fenomeni, costituisce una risposta ante litteram alle elucubrazioni sulla incommensurabilità delle teorie.
3. Il ruolo dei “punti di vista”, delle ontologie e, quindi, delle immagini del mondo nella Scienza e nella Fisica. Hertz, pur riconoscendone la funzione euristica, sottolinea la necessità di ridurre e, al limite, annullare l’impatto delle immagini del mondo nella formulazione delle teorie.

Nella introduzione teorica alle “Onde elettriche” la descrizione del processo conoscitivo della fisica è più articolato. Hertz sostiene che il nocciolo di una teoria fisica è costituito dal suo sistema di equazioni: oggi diremmo “il suo sistema di equazioni interpretato” intendendo che la medesima teoria e/o la conoscenza considerata acquisita deve/devono indicare come le grandezze fisiche che descrivono le proprietà delle entità teoriche usate possano essere misurate.

Scrive Hertz:

Alla domanda, “Che cosa è la teoria di Maxwell?” io non so rispondere in modo più conciso o più preciso che dicendo: “la teoria di Maxwell è il sistema di equazioni di Maxwell”. Ogni teoria che conduce allo stesso sistema di equazioni, e pertanto include gli stessi possibili fenomeni, verrà da me considerata come una forma od un caso particolare della teoria di Maxwell; ogni teoria che conduce ad equazioni diverse, e pertanto a possibili fenomeni diversi, è una teoria diversa.

³ Corsivo mio.

⁴ Si veda, ad esempio, l’introduzione di R. Cohen, alla traduzione inglese dei “Principi”, (Dover), 1956. Il tema è anche trattato da R. Milani nella sua tesi.

Secondo Hertz, esistono almeno quattro rappresentazioni della teoria di Maxwell. Pertanto:

Il semplice fatto che diverse rappresentazioni contengano quello che sostanzialmente è la stessa cosa [lo stesso sistema di equazioni], rende particolarmente difficile una corretta comprensione di ciascuna di esse. Idee e concetti che sono al contempo simili e diversi possono essere rappresentati dagli stessi simboli nelle diverse rappresentazioni. Pertanto, per una corretta comprensione di ciascuna di esse, la prima cosa che bisogna fare è quella di comprendere ciascuna rappresentazione per se stessa, senza introdurre in essa idee che appartengono ad un'altra. Può forse essere utile a molti miei colleghi una breve esposizione delle concezioni fondamentali delle tre rappresentazioni della teoria di Maxwell cui ho già fatto riferimento.⁵

Alla base di diverse rappresentazioni della stessa teoria [stesso sistema di equazioni] stanno diversisi “punti di vista”, la cui funzione è quella di stabilire - sulla base di una ontologia - quali siano le entità teoriche fondamentali. Hertz, in realtà, non parla esplicitamente di ontologie: ma il loro ruolo fondante dei vari “punti di vista” è evidente, come è evidente l'obiettivo di Hertz di ridurre al minimo l'impatto dei “punti di vista” - e quindi delle ontologie - sulle rappresentazioni. Utile a questo scopo è il criterio della adeguatezza delle “immagini” [rappresentazioni], criterio cui le “immagini” [rappresentazioni] debbono soddisfare dopo aver ottemperato a quello della permissibilità (logica) e della correttezza (conformità con l'esperimento): vedi la tabella 2.

Pertanto, è necessario utilizzare “solo quegli elementi che non possono essere rimossi o cambiati senza alterare contemporaneamente [la predizione di] possibili risultati sperimentali”.

Il “punto di vista” di Hertz è quello secondo cui le entità teoriche fondamentali sono i campi elettrici e magnetici intesi come descrittivi “stati” dell'etere. Tale scelta è motivata innanzitutto da una ontologia negativa: il rifiuto della possibilità della “azione a distanza”, definita come una “specie di affinità spirituale” tra due corpi; in secondo luogo, dalla scelta relativa alla esistenza dell'etere. Tuttavia, questa scelta ontologica è cauta: più volte l'etere viene definito come “ipotetico”, presumibilmente in base alla consapevolezza che “non sappiamo, né possiamo sapere in alcun modo se le nostre concezioni delle cose sono in conformità con esse sotto ogni altro aspetto che non sia questo unico fondamentale aspetto [“le necessarie conseguenze delle immagini nel pensiero sono sempre le necessarie conseguenze delle cose descritte”]”. Ne consegue, per esempio, che l'elettricità non solo non è una entità teorica fondamentale, ma è solo un “nome”, una “notazione”: è uno di quegli “elementi” [entità teoriche] di cui si può fare a meno.

Questa presentazione schematica del pensiero di Hertz è sufficiente per metterne in risalto la rilevanza che ancora oggi esso ha per chiunque voglia cimentarsi con i problemi filosofici posti dalla fisica e, più in generale, dalla scienza. E' indubbio che lo schema hertziano vada arricchito sulla base dei successivi sviluppi della fisica, della scienza e della riflessione filosofica su di esse.

In primo luogo è opportuno introdurre il concetto di teorie equivalenti. Una teoria fisica è una descrizione matematica di un insieme di fenomeni naturali. Da un punto di vista formale, una teoria è caratterizzata da due elementi: l'insieme dei fenomeni naturali

⁵ La quarta rappresentazione sarà quella di Hertz.

descritti e l'insieme delle sue equazioni interpretate, nel senso sopra specificato [secondo cui una teoria e/o la conoscenza acquisita deve/devono indicare come le grandezze fisiche usate da una teoria possano essere misurate]. E' quindi possibile che esistano due teorie diverse in senso hertziano [perché hanno due diversi sistemi di equazioni], ma che, ciononostante, sono equivalenti perché descrivono lo stesso insieme di fenomeni naturali [hanno esattamente la stessa capacità predittiva]. Si pensi, ad esempio, alla versione ondulatoria ed a quella basata sulle matrici della meccanica quantistica. Si noti tuttavia come i criteri hertziani di confronto tra "rappresentazioni" diverse di una stessa teoria [stesso sistema di equazioni] possano essere tranquillamente applicati anche a teorie diverse ma equivalenti.

Secondariamente, la valutazione della corrispondenza tra predizioni della teoria ed esperimento presenta, in generale, aspetti più problematici di quelli che si possono evincere dalla sintetica descrizione hertziana. In ogni caso, rimane sempre valida l'indicazione secondo cui, anche durante questa procedura, bisogna utilizzare "solo quegli elementi che non possono essere rimossi o cambiati senza alterare contemporaneamente [la predizione di] possibili risultati sperimentali".

Infine, lo scetticismo hertziano intorno alle immagini del mondo ontologicamente fondate può essere parzialmente superato perché è possibile costruire immagini del mondo la cui caratteristica basilare sia la loro compatibilità con l'insieme della conoscenza acquisita. Tali immagini del mondo svolgono un ruolo essenziale nella diffusione delle conoscenze scientifiche e nel processo di alfabetizzazione scientifica dei cittadini.

Bibliografia.

Oltre ai due lavori di Hertz citati, segnalo in modo diretto solo alcuni saggi miei e dei miei collaboratori al solo scopo di integrare questo scritto con elaborazioni più articolate. Un'ampia bibliografia si trova nel lavoro n. 7.

1. H. Hertz, *The principles of mechanics presented in a new form*, Dover (1956). Traduzione inglese (1899) dell'edizione originale tedesca del 1894. Dell'opera di Hertz è ora disponibile una traduzione italiana a cura di Giovanni Gottardi, Pavia, La Goliardica Pavese, 1996. (Collana di storia della scienza diretta da Fabio Bevilacqua.)
2. H. Hertz, *Electric waves*, Dover (1962). Traduzione inglese (1893) dell'edizione originale tedesca del 1892.
3. A. Casella e G. Giuliani, "Il realismo come problema metodologico - Per un realismo empirico", in: G. Giuliani (a cura di) *Ancora sul realismo - Aspetti di una controversia della fisica contemporanea*, (Pavia, 1995), 13 - 30. Di questo saggio esiste una versione più recente (in inglese) all'indirizzo: <http://fiscavolta.unipv.it/percorsi/real.asp>
4. M. Antoniazzi e G. Giuliani "Campi, onde e particelle nei manuali di elettromagnetismo: un esempio di stratificazione concettuale e ontologica", *Il Giornale di Fisica*, 38, (1997), 87-98. In rete all'indirizzo: <http://fiscavolta.unipv.it/percorsi/pg.asp>
5. G. Giuliani "The Philosophy of Physics of an Engineer", *Proceedings of the International Symposium "Galileo Ferraris and the conversion of energy*.

- Development of electrical engineering over a century*", Torino, October 27-29, 1997, 55-74. Anche sul sito: <http://fiscavolta.unipv.it/percorsi/ferrafil.asp>
6. G. Giuliani, "What physicists are talking about?", in: A. Balzarotti, A. Frova, U.M. Grassano (eds.), *Solid State Physics, Il Nuovo Cimento 20D*, (1998), 1183-1186. In rete all'indirizzo: http://fiscavolta.unipv.it/percorsi/what_are.asp
 7. A. Casella and G. Giuliani, "Scientific Thought and Common Sense", presentato al Convegno *Science as Culture* Como-Pavia, 15-19 September 1999. Il testo si trova all'indirizzo: <http://fiscavolta.unipv.it/percorsi/common.asp>